

## RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO.
2. **TÍTULO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE ELECTRÓNICA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN AUTOLCAVE.
3. **AUTORES:** Laura Ximena Carrascal Monsalve y Joan Felipe Valbuena Moreno.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** Junio 2012
6. **PALABRAS CLAVE:** Esterilizar, bioseguridad, automatización, controlador, autoclave.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de éste proyecto es el diseño e implementación de una tarjeta electrónica que se adaptara a un autoclave manual dando como resultado la automatización del mismo y reduciendo su contacto con personal humano. Se presentan todos los desarrollos ingenieriles necesarios para cumplir con el objetivo.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sub línea de la facultad de Ingeniería: Análisis y procesamiento de señales. Núcleo problémico: control y micro electrónica
9. **FUENTES CONSULTADAS:** Burkhardt, J. Lecture Notes on the Art of Design. The Indiana University-Purdue University Fort Wayne. 1996. GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega, Primera Edición 2008. Manual de Esterilización para Centros de Salud, Organización Panamericana de la Salud, Silvia I Acosta-Gnass y Valeska de Andrade Stempliuk, Washington, D.C. 2008.
10. **CONTENIDOS:** En el campo de la esterilización de instrumental médico y más específicamente odontológico, los autoclaves son de vital importancia puesto que es el método más económico y seguro para el proceso. La mayoría de equipos en el país son de función manual, es decir que se necesita de la presencia de un operario para cada una de las etapas del proceso de esterilización del autoclave lo cual ha ocasionado según fabricantes innumerables errores humanos que deterioran tanto el equipo como el instrumental que se está esterilizando y su proceso de esterilización. A partir de esto nace la necesidad de automatizar los procesos de los autoclaves y dar precisión a las condiciones de esterilización mediante el diseño e implementación de una tarjeta electrónica.
11. **METODOLOGÍA:** La metodología es con enfoque empírico analítico y se basa principalmente en la metodología para el diseño electrónico dado por Burkhardt 1996.
12. **CONCLUSIONES:** Se diseñó e implementó una tarjeta electrónica que se adaptó correctamente a un autoclave manual existente. Al finalizar la adaptación el autoclave llevó a cabo su proceso de esterilización, desde el llenado hasta el secado y registro de datos con una sola pulsación para la selección del ciclo lo cual reduce el contacto humano con el equipo. El método de sintonización de la curva de Zeigler/Nichols para el control PID ofrece la posibilidad de ajustar el sistema a diferentes necesidades; sin embargo es posible que aumente el tiempo de diseño e implementación del sistema por las mediciones iniciales que se deben realizar.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE ELECTRÓNICA PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE UN AUTOCLAVE**

**PRESENTADO POR:  
LAURA XIMENA CARRASCAL MONSALVE  
JOAN FELIPE VALBUENA MORENO**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE ELECTRÓNICA PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE UN AUTOCLAVE**

**PRESENTADO POR:**

**LAURA XIMENA CARRASCAL MONSALVE  
JOAN FELIPE VALBUENA MORENO**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico**

**Asesor:**

**Ing. Néstor Penagos**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Bogotá, 8 de Junio del año 2012**



## Tabla de contenido

GLOSARIO .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.1.1 Antecedentes Internacionales.....	13
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	16
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 Justificación.....	19
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.41 Objetivo general .....	20
1.42 Objetivos específicos .....	20
1.5 Alcances y limitaciones del proyecto.....	20
2. MARCO DE REFERENCIA.....	22
2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL.....	22
2.1.1 Autoclave .....	22
2.1.3 PANTALLAS LCD .....	29
2.1.4 DISPOSITIVOS PARA EL REGISTRO DE DATOS .....	34
2.1.5 DISPOSITIVOS CONTROLADORES .....	37
2.1.6 DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	40
2.1.7 Ley de Gay Lussac .....	51
2.1.8 Sistemas de Control.....	52
2.2 MARCO LEGAL .....	60
3. METODOLOGÍA.....	62
4. LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA .....	63
4.1 Línea de investigación institucional: Tecnologías actuales y sociedad .....	63
4.2 Sub línea de facultad: Análisis y procesamiento de señales .....	63
4.3 Núcleo problémico: control y micro electrónica.....	63
5. DESARROLLO INGENIERIL .....	64

5.1	Requerimientos .....	64
5.1.1	Funcionales .....	64
5.1.2	No Funcionales .....	64
5.2	Funcionamiento General de un autoclave .....	65
5.2.1	Adquisición de Datos .....	66
5.2.2	Acondicionamiento y Precaentamiento .....	66
5.2.3	Esterilización.....	68
5.2.4	Despresurización.....	69
5.2.5	Secado .....	70
5.3	Sensores.....	72
5.3.1	Sensor Para el control de Presión de Trabajo del autoclave .....	72
5.3.2	Sensor para el monitoreo de temperatura de seguridad de la parte electrónica	81
5.3.3	Sensor de Monitoreo de Puerta Cerrada .....	85
5.3.4	Sensor para el Control de nivel de agua dentro de la cámara de esterilización	86
5.4	Control.....	88
5.4.1	Selección del método de ajuste de las constantes del PID.....	89
5.4.2	Método de Ajuste de Ziegler/Nichols tiempo continuo.....	91
5.4.3	Método de Ajuste de Ziegler/Nichols tiempo discreto.....	94
5.5	LCD .....	96
5.6	Registro de datos .....	101
	Como se vio anteriormente, es importante que el autoclave registre o brinde información sobre los procesos realizados, el número de esterilizaciones y si se terminó de forma correcta cada ciclo. Para esto se estudiaron dos dispositivos con los cuales es posible llevar a cabo el proceso (Tabla 14). .....	101
5.7	Ajustes para la planta física .....	104
5.8	Circuito Impreso .....	108
5.8.1	Etapas de Alimentación y Potencia .....	110
5.9	Selección del dispositivo controlador .....	111
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	115
7.	CONCLUSIONES.....	118
8.	RECOMENDACIONES .....	120

9. BIBLIOGRAFÍA.....	122
ANEXOS .....	124
Anexo A. Manual de Funcionamiento del Autoclave.....	124
Anexo B. Código de Programación del autoclave .....	137
Anexo C. Lectura de Resultados de pruebas Químicas .....	151
Anexo D. Lectura de resultados de prueba Biológica .....	152
Anexo E. Circuito Impreso del Hardware general .....	153
Anexo F. Simulación en 3D de las medidas de los componentes del hardware general. .....	154
Anexo G. Circuito Impreso de la fuente de alimentación.....	155

## Lista de Figuras

Figura 1. Autoclave Systec D-23. ....	14
Figura 2. Autoclave TUTTNAUER EVB digital. ....	15
Figura 3. Autoclave Olsotek Industria Colombiana .....	17
Figura 4. Autoclave para esterilización.....	18
Figura. 5 Tabla de Relación Temperatura y Presión para Vapor Saturado.....	25
Figura. 6 Indicador Químico 1243 3M .....	26
Figura 7. Indicador Biológico Attest 1262 3M .....	27
Figura 8. Solenoide Energizado.....	29
Figura 9. Funcionamiento de los Pixeles de una LCD.....	30
Figura 10. Pantalla LCD alfanumérica con resolución de 2X16.....	31
Figura 11. Especificaciones técnicas de la pantalla LCD gráfica de resolución 128X64.....	34
Figura 12. Especificaciones Técnicas de la Memoria SD de 8 GB .....	35
Figura 13. Impresora EPM – 203 de APS .....	36
Figura 14. Diagrama de Pines del .....	38
Figura 15. Diagrama de Pines del Pic18f4550 .....	40
Figura 19. Sensor SPTW de Festo.....	46
Figura 20. Especificaciones técnicas .....	47
Figura 21. Especificaciones de Presión y Voltaje .....	48
Figura 22. Sensor de Presión MPX5700 Fuente .....	49

Figura 23. Parámetros de presión y temperatura del sensor MPX5700 .....	50
Figura 24. Características técnicas del sensor .....	50
Figura 25. Gráfica de respuesta del control ON-OFF .....	53
Figura 26. Respuesta de Control proporcional .....	54
Figura 27. Lazo Básico de control PID .....	55
Figura 28. Respuesta del control PID .....	56
Figura 29. Forma de control Proporcional.....	57
Figura 30. Respuesta del sistema en lazo cerrado después de implementar el método .....	58
Figura 31. Curva de respuesta al escalón unitario Fuente: .....	60
Figura 32. Etapas Generales del proceso de diseño electrónico.....	62
Figura 33. Diagrama de funcionamiento de un autoclave .....	65
Figura 34. Fase de Adquisición de datos.....	66
Figura 35. Fase de Acondicionamiento de datos.....	66
Figura 36. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de acondicionamiento del equipo .....	68
Figura 37. Fase de esterilización del equipo.....	68
Figura 38. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de esterilización del equipo .....	69
Figura 39. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de despresurización del equipo .....	70
Figura 40. Fase de secado del equipo .....	70
Figura 41. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de secado del equipo.....	71
Figura 42. Sensor de Presión MPX5700 Fuente: .....	73
Figura 43. Diagrama de pines .....	74
Figura 44. Gráfica del comportamiento lineal del sensor de presión .....	77
Figura 46. Diagrama de flujo del algoritmo para la recolección de datos del sensor de presión.....	79
Figura 47. Circuito básico de conexión para el sensor MPX8700 Fuente: .....	81
Figura 48. Circuito básico de conexión para el sensor LM35 Fuente: .....	83
Figura 49. Grafica de la respuesta del sensor a las mediciones de prueba.....	84
Figura 50. Micro – Switch con pulso redondo.....	85
Figura 51. Diseño del sensor de nivel .....	87
Figura 52. Circuito de conexión del sensor de nivel .....	87
Figura 53. Diagrama de pines del transistor 2n2222 .....	88
Figura 54. Grafica de la respuesta de la planta al escalón .....	91

Figura 55. Grafica de la respuesta de la planta al escalón y los valores obtenidos con la recta de máxima pendiente.....	92
Figura 56. Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para la implementación del PID .....	95
Figura 57. Diagrama de pines de la LCD .....	97
Figura 58. Diagrama de flujo del algoritmo para la implementación de la LCD.....	98
Figura 59. Resultado parcial de la simulación de la LCD en Proteus .....	99
Figura 60. Pantallazo de la imagen de STOP diseñada en FastLCD .....	100
Figura 61. Pantallazo de la generación de código de la imagen de STOP en ImageLCD .....	101
Figura 62. Impresora EPM-203.....	102
Figura 63. Perforaciones en cámara de esterilización.....	105
Figura 64. Resistencias de Esterilización .....	106
Figura 65. Resistencias de Secado .....	107
Figura 66. Perforaciones en el mueble del autoclave .....	108
Figura 67. Circuito esquemático del equipo .....	109
Figura 68. Circuito esquemático de la fuente de voltaje .....	111
Figura 69. Diagrama de flujo del algoritmo final del equipo .....	115
Figura 70. Autoclave Digital finalizado .....	116
Figura 71. Pantallazo final de acondicionamiento de la LCD .....	117
Figura 72. Recibo de Error No. 2 resultante para el registro de datos .....	117

## Lista de Tablas

Tabla 1. Consumo eléctrico de una LCD alfanumérica .....	32
Tabla 2. Especificaciones técnicas del PLC SIMATIC 300 .....	37
Tabla 3. Ventajas y desventajas del control On-Off.....	53
Tabla 4. Ventajas y desventajas del control proporcional.....	54
Tabla 5. Cocientes de multiplicación para el método de Oscilación de Ziegler/Nichols.....	58
Tabla 6. Tabla comparativa entre los sensores de presión SPTW y MPX5700dp .....	73
Tabla 7. Rango de salida del sensor en Voltios – Precisión - Presión .....	75
Tabla 8. Tabla de resultados de prueba de medición del sensor .....	76
Tabla 9. Tabla comparativa de sensores de temperatura .....	82
Tabla 10. Tabla de resultados de medición y prueba de linealidad del sensor LM35.....	83
Tabla 11. Tabla de resultados de requerimientos del sensor de nivel.....	86

Tabla 12. Tabla de resultados de respuesta a escalón unitario en la planta del autoclave ..... 90

Tabla 13. Tabla de comparación entre LCD y display 7 segmentos ..... 96

Tabla 14. Tabla de comparación para el dispositivo de registro de datos ..... 102

Tabla 15. Tabla de comparación para el microcontrolador escogido..... 112

Tabla 16. Tabla de entradas y salidas del sistema ..... 113

## GLOSARIO

**ASEPSIA:** es la exclusión continuada de microorganismos contaminantes. Así por ejemplo el cultivo de microorganismos en el laboratorio es llevado a cabo asépticamente como en muchas fermentaciones industriales. El medio de cultivo es esterilizado para remover toda forma de vida y luego inoculado con el cultivo requerido. Se dice entonces que el sistema se mantiene en condiciones asépticas.

**BACTERIA:** Nombre dado a seres unicelulares desprovistos de clorofila cuyos individuos solamente son visibles al microscopio.

**BIOSEGURIDAD:** Es la protección de la vida Humana, Animal o Vegetal, de cualquier riesgo biológico, químico, físico, interno o externo, mediante la aplicación PERMANENTE de las diversas normas y sistemas existentes para cada caso.

**DESINFECCIÓN:** se aplica a la remoción o destrucción por cualquier vía de organismos vivos que pueden causar daño particular o infección. No significa por lo tanto la destrucción de todos los microorganismos, sino solamente de aquellos que pueden producir un resultado no deseado.

**ESTERILIZAR:** Es la eliminación de toda forma de vida de un medio o material, lo que se lleva a cabo generalmente por medios físicos, por ejemplo, filtración, o por muerte de los organismos por calor, productos químicos u otra vía. Esta definición excluye por lo tanto cualquier técnica que resulte solamente en un daño a los microorganismos o atenuación de la actividad de cualquier tipo.

**INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO:** Es el material utilizado durante intervenciones quirúrgicas y que son invasivos para el cuerpo humano, es decir que tienen contacto directo con el organismo.

**MICROBIOLOGÍA:** Tiene por objeto el estudio de los microorganismos que tienen relación con la especie humana, en sus aspectos de detección, aislamiento,

identificación, mecanismos de colonización y patogenicidad, mecanismos de diseminación y transmisión, significación clínica y epidemiológica, procedimientos para su control sanitario o terapéutico y respuesta biológica del ser humano ante los mismos.

**VIRUS:** Los *virus* están compuestos de un ácido nucleico, envuelto en una o más proteínas. Algunos tienen una cubierta o membrana externa. Son parásitos intracelulares obligados; se multiplican solamente dentro de las células, porque sus ácidos nucleicos no codifican las innumerables enzimas que necesitan para su metabolismo de proteínas, carbohidratos o lípidos y para la generación de fosfatos de alta energía.

## INTRODUCCIÓN

Los autoclaves son unidades importantes para el sector de la salud; esto es debido a que estos se encargan de esterilizar los instrumentos usados para hacer procedimientos externos o internos en el cuerpo humano. Los autoclaves han sido declarados como elementos obligatorios en el equipo de bioseguridad que se tenga en centros de salud, hospitales, consultorios, incluso en salas de belleza, donde se muestre que se usan instrumentos invasivos para el cuerpo humano<sup>1</sup>, debido a que los pacientes en estos sitios al estar expuestos a tantas infecciones y enfermedades altamente contagiosas deben ser aislados sobretodo en los instrumentos que se usen en ellos ya que muchas enfermedades son causadas por elementos infectados, es por ellos que en Colombia se ha abierto el comercio orientado a la fabricación de estos.

A través de los años como en todas las tecnologías se ha estado trabajando sobre los autoclaves de forma que estos logren eliminar en su totalidad agentes bacteriológicos que se encuentren en los implementos invasivos al cuerpo humano, tales como agujas, escalpelos, entre otros. Sin embargo en Colombia los fabricantes de estos autoclaves se han mantenido por años en tecnología análoga, más específicamente electromecánica lo que implica dificultades en el momento que el usuario lo esté manejando y además posibles problemas de precisión al momento de esterilizar.

En este proyecto se diseñara e implementará la parte electrónica para un autoclave cuyo funcionamiento era de inicio manual, con el fin de monitorear sus variables de operación y garantizar que sean consecuentes con las leyes aprobadas en el campo de la esterilización. Además se dará la posibilidad de registrar los datos de medición durante el proceso de esterilización directamente desde el autoclave.

---

<sup>1</sup> Resolución 02189 del 9 de Julio del 2004 expuesta por el Ministerio de Protección Social de Colombia. [Internet] [Consultado 16 de Septiembre de 2011] Disponible en [http://www.arpsura.com/legislacion/articulos/387/resolucion\\_02183.pdf](http://www.arpsura.com/legislacion/articulos/387/resolucion_02183.pdf)

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 ANTECEDENTES

### 1.1.1 Antecedentes Internacionales

A continuación se verán algunas de las empresas más destacadas tanto en Colombia como en el exterior, y las principales características de sus autoclaves.

- **Systemec the autoclave company**<sup>2</sup>: esta empresa alemana, tiene como finalidad llevar sus autoclaves a cada país en el mundo. Fabrican autoclaves de distintos diseños y se destacan por el desarrollo de nuevos sistemas de cierre para sus autoclaves; la capacidad de los equipos tienen desde 23 litros hasta 200 litros, todos funcionan digitalmente (Figura 1), y una de sus series tiene función de registro de información tanto impresa como digital. Las variables de temperatura y presión que manejan son las establecidas legalmente 121 grados a 18.5 psi para pequeñas cantidades de instrumental, y 134 grados a 28.5 psi para mayores cantidades.

---

<sup>2</sup> Systemec, The Autoclave company. [Internet] [Consultado 16 de Septiembre de 2011] Disponible en <http://www.systemec-lab.com/index.php?site=GB/Horizontal,bench-topautoclaves>



Figura 1. Autoclave Systec D-23.

Fuente: <http://www.systec-lab.com/index.php?site=GB/Horizontal,bench-topautoclaves>

- **Gnatus**<sup>3</sup>: Es una compañía brasilera especializada en la fabricación de equipos odontológicos; uno de sus productos es su conocido autoclave bioclave, que ofrece las funciones básicas de esterilización y secado totalmente análogos, su mayor característica es su tamaño compacto y su sistema de cerrado que permite una apariencia exterior innovadora. Su ciclo completo es de 60 minutos aproximadamente dependiendo de la cantidad de material que se esté esterilizando; se puede escoger dos tipos de ciclos 121 grados centígrados a 18.5 psi para esterilización de ropa y accesorios y 134 grados centígrados a 28.5 psi para material quirúrgico invasivo.
- **Tuttnauer**<sup>4</sup>: Es una compañía multinacional proveniente de Israel, especializada en equipos médicos; entre sus productos se pueden

---

<sup>3</sup> Gnatus [Internet] [Consultado 16 Septiembre de 2011] Disponible en línea: [http://gnatus.com.br/2005/esp/produtos\\_show.php?cod=839&cat=Autoclave](http://gnatus.com.br/2005/esp/produtos_show.php?cod=839&cat=Autoclave)

<sup>4</sup> Tuttnauer [Internet] [Consultado 16 Septiembre de 2011] Disponible en línea: <http://www.tuttnauer.com/products/dental-private-clinics/pre-post-vacuum-autoclaves/evb-and-evs>

encontrar autoclaves automáticas y semiautomáticas, que se destacan por su rapidez y durabilidad. En la línea automática, se pueden encontrar autoclaves con capacidad desde 19 litros hasta 85 litros, dentro de sus principales características se puede encontrar la selección de ciclos y temperaturas por el usuario para mayor flexibilidad, sistema de registro impreso opcional, monitoreo independiente de temperatura y presión (Figura 2). Los autoclaves Tuttnauer dan la opción al usuario de escoger entre ciclos para, ropa, líquidos o instrumental quirúrgico, estos ciclos varían entre 121°C, 125°C y 134°C respectivamente. Esta marca es de reconocimiento mundial por lo tanto sus equipos se ajustan a las leyes de esterilización generales 121°C a 18.5 psi y 134°C a 28.5 psi.



Figura 2. Autoclave TUTTNAUER EVB digital.

Fuente: <http://www.tuttnauer.com/products/dental-private-clinics/pre-post-vacuum-autoclaves/evb-and-evs>

### 1.1.2 Antecedentes Nacionales

Las empresas anteriores, han sido las más destacadas y con mejores y nuevas ofertas al mercado recientemente. A continuación se mostrarán las empresas líderes de fabricación de autoclaves en Colombia:

- **Fendental:** esta compañía colombiana fabrica y distribuye equipos médicos odontológicos, entre ellos se encuentra su línea de autoclaves Sunclave, que se caracterizan por su rapidez y bajos costos, estos autoclaves manejan los estándares legales de temperatura y presión, y su funcionamiento es netamente electromecánico. Los equipos Sun Clave de gran antigüedad en el país utilizan termóstatos como sistema de control de temperatura y un manómetro para visualizar la presión dentro del tanque, maneja temperaturas según resolución de 121°C a 18.5 psi y 134°C a 28.5 psi.
- **Olsotek<sup>5</sup>:** es una empresa colombiana, radicada en la ciudad de Bogotá fabricante exclusivamente de autoclaves desde 4,9 litros (Figura 3) hasta 18,5 litros de capacidad. Entre sus ofertas se encuentran autoclaves automáticos, y control de tiempo digital. Esta compañía se caracteriza por garantizar la máxima eficacia en sus autoclaves, además de ofrecer capacidades pequeñas con el fin de dirigirse a mercados donde no se necesite esterilizar instrumental en masa. Posee dos ciclos de esterilización 134°C con una duración de 30 minutos para instrumental y 121°C con una duración de 30 minutos para telas.

---

<sup>5</sup> Olsotek [Internet] [Consultado 16 Septiembre de 2011] Disponible en línea: <http://www.olsotek.com/productos.html>



Figura 3. Autoclave Olsotek Industria Colombiana  
Fuente: <http://www.olsotek.com/productos.html>

#### 1.1.2.1 Antecedentes Locales

- Para el proyecto de grado de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá se propuso un autoclave como método de esterilización<sup>6</sup>. El autoclave posee mediciones y diseño mecánico además de un pequeño diseño electrónico. El autoclave maneja un solo ciclo de esterilización.

---

<sup>6</sup> TELLO VELANDIA, Deisy Johana y MARIÑO SALAMANCA, Angélica. Diseño y construcción de un dispositivo médico de esterilización para la industria odontológica. Trabajo de grado Ingeniero Mecatrónico. Universidad de San Buenaventura Bogotá. Facultad de Ingeniería. Noviembre 2010.

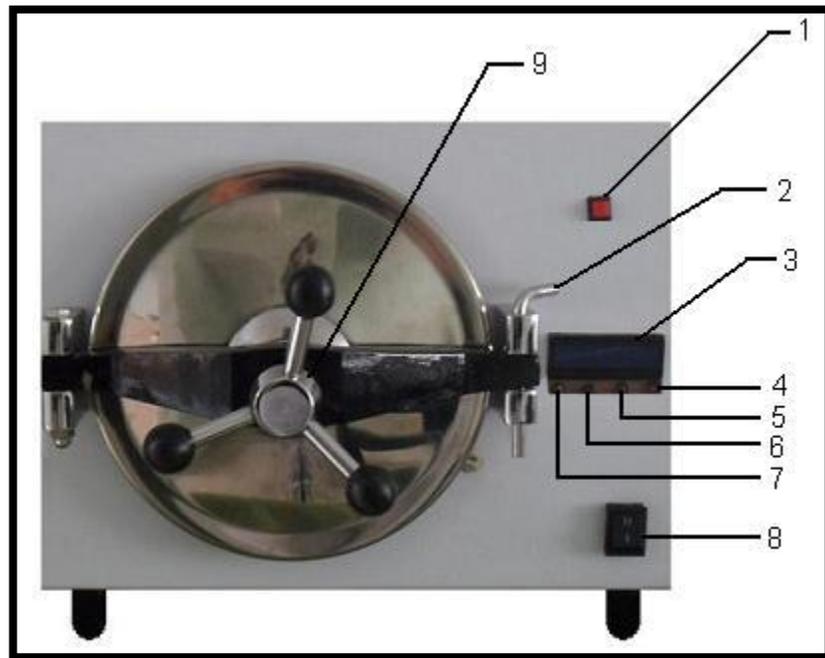


Figura 4. Autoclave para esterilización.  
Fuente: TELLO VELANDIA, Deisy Johana y MARIÑO SALAMANCA, Angélica.  
Diseño y construcción de un dispositivo médico de esterilización para la industria odontológica. Trabajo de grado Ingeniero Mecatrónico. Universidad de San Buenaventura Bogotá. Facultad de Ingeniería. Noviembre 2010.

## 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia los fabricantes de autoclaves se han limitado a la fabricación análoga de los mismos puesto que por diversas razones no han logrado digitalizar el proceso, esto supone un problema bastante grande debido a que los autoclaves análogos tienden a presentar errores de precisión en el proceso de esterilización, no se pueden controlar de forma eficiente variables como presión y temperatura dentro de la recámara, y además resultan complicados de manejar para los usuarios, lo que implica la reducción de su tiempo de vida útil. Por otro lado es difícil mantener un registro de las mediciones de presión y temperatura del

autoclave por cada ciclo realizado, datos que ayudarían tanto al fabricante como al usuario puesto que el fabricante tendría la posibilidad de comprobar la calidad de su producto incluso luego de salir del almacén llevando a cabo su proceso de trazabilidad y el usuario tendrá el registro de las esterilizaciones realizadas en el establecimiento como comprobante para el ministerio de salud. Por último uno de los grandes problemas al momento de la utilización de un autoclave es que el usuario recae en errores de manejo que perjudican tanto el proceso de esterilización como el mismo autoclave.

¿Cómo diseñar e implementar la parte electrónica para la automatización de un autoclave manual?

### **1.3 Justificación**

Los autoclaves como productos, van dirigidos principalmente a la comunidad médica que trabaja con instrumentos invasivos para el cuerpo humano y esto implica una gran responsabilidad por parte de la comunidad médica como por los fabricantes de productos de esterilización. Los operarios de los autoclaves en Colombia han tenido que trabajar con dispositivos manuales cuya utilización es para muchos engorrosa, lo que implica una reducción en el tiempo de vida útil del autoclave y la posibilidad de que el proceso de esterilización no se lleve a cabo correctamente. Es por esta razón, que la implementación de una parte electrónica se hace importante, puesto que se pretende facilitar al máximo su manejo, lo cual garantizará que el autoclave sea útil por más tiempo, y que por otro lado haga el proceso de esterilización de forma eficiente. Además, es importante visualizar un registro de los ciclos de esterilización realizados, para hacer un seguimiento de las buenas prácticas de bioseguridad en el lugar donde se esté trabajando, además de un comprobante para el ministerio de salud de las esterilizaciones realizadas y un seguimiento de trazabilidad para los fabricantes.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.41 Objetivo general**

Diseñar e implementar la parte electrónica para la automatización de un autoclave.

### **1.42 Objetivos específicos**

- Seleccionar los sensores adecuados para la recolección de variables temperatura y presión.
- Seleccionar el tipo de control adecuado para el manejo de las variables temperatura y presión, que definirán el ciclo y el tiempo de esterilización.
- Seleccionar LCD para la visualización de datos, teniendo en cuenta su tamaño y versatilidad con el fin de mostrar adecuadamente la información de cada ciclo de esterilización.
- Implementar el sistema de registro de datos de esterilización del autoclave.
- Ajustar la planta física del autoclave para la instalación de la parte electrónica.
- Realizar pruebas de funcionamiento del autoclave.
- Elaborar el manual de instrucciones del autoclave como medida final para asegurar el buen manejo del usuario.

## **1.5 Alcances y limitaciones del proyecto**

El diseño e implementación de la parte electrónica para un autoclave está propuesto con el fin facilitar su manipulación para el operario; por tanto el dispositivo podrá pasar las pruebas de bioseguridad vigentes, además contará con

un sistema que permitirá seleccionar el ciclo necesario para la esterilización de diferentes componentes registrará los datos de cada esterilización de manera que el usuario pueda llevar una bitácora de cada esterilización terminada con éxito.

El dispositivo se limita a esterilizar instrumental odontológico apto para soportar condiciones extremas de presión y temperatura, tales como 134 grados centígrados y 28.5 psi. El instrumental a esterilizar no podrá ser superior a 40cm de largo por 15 cm de ancho. Así como cumplir con las condiciones mínimas para la esterilización de elementos que son 121 grados centígrados y 18.5 psi, la planta mecánica será ensamblada con las partes de un autoclave electro mecánico ya existente. El diseño del equipo será de la tarjeta digital, panel de visualización y sensores que requiera el equipo para el proceso. El material de visualización será utilizado como registro de datos de cada esterilización, el registro no será almacenado, solo impreso.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL**

#### **2.1.1 Autoclave**

Un autoclave<sup>7</sup> es un dispositivo que contiene una recámara herméticamente cerrada donde se aplican las condiciones de vapor y presión necesarias para la erradicación de microorganismos de los implementos dispuestos dentro de dicha recámara. Muchos autoclaves de grandes capacidades se usan para la esterilización de grandes implementos de hospitales superiores a los 40 cm de longitud, aunque el proceso sea el mismo, debido a su gran tamaño la forma de llegar a las condiciones adecuadas de esterilización varía.

Actualmente en los consultorios médicos u odontológicos se pueden encontrar autoclaves electromecánicos que aunque cumplen de una u otra forma su función de esterilización, dan cabida a muchos errores por parte del usuario al momento de su manejo. Por otro lado su calibración y la llegada a sus condiciones iniciales implican que los implementos se fatiguen reduciendo su vida útil, en cuanto al mercado se pueden encontrar equipos que carecen de representación de repuestos que se dañan fácilmente por lo mencionado anteriormente.

##### **2.1.1.1 Esterilización a Vapor**

Para comprender de mejor forma el funcionamiento de un autoclave es preciso entender el proceso que se lleva a cabo dentro de éste. La esterilización a vapor comienza con un agente húmedo que en este caso sería agua que al llegar rápidamente dentro de la recámara a su punto de ebullición, se convierte en vapor

---

<sup>7</sup> Autoclave [Internet] [Consultado 16 Septiembre de 2011] Disponible en línea: [http://www.facgk.com.ar/index.php?page=shop.browse&category\\_id=33&option=com\\_virtuemart&Itemid=1](http://www.facgk.com.ar/index.php?page=shop.browse&category_id=33&option=com_virtuemart&Itemid=1)

húmedo. El vapor húmedo al someterse a altas temperaturas dentro de un recipiente cerrado y sometido al vacío interactúa con las células haciéndolas inofensivas por cierta cantidad de tiempo, llegando al punto adecuado de presión, tiempo y temperatura se puede destruir microorganismos.

#### **2.1.1.2 Producción de Vapor**

Para la producción de vapor se debe tener en cuenta que la humedad relativa que es la cantidad de vapor de agua expresada en porcentaje del total que la atmósfera puede tener a una temperatura determinada. Por lo tanto a mayor temperatura, mayor es la cantidad de vapor que puede contener es decir mayor presión.

Se debe tener en cuenta que para el proceso de esterilización se necesita vapor saturado. Por ejemplo, si el aire se enfría, se transforma en súper saturado y parte del vapor se condensará como agua. Entonces el vapor saturado es parecido al aire con un 100% de humedad relativa; y es en éste punto donde se enfoca el proceso de esterilización y del manejo de la presión y la temperatura dentro del autoclave.

El vapor saturado tiene la importante propiedad de que la presión ejercida por el vapor saturado es constante para una determinada temperatura y va a variar en directa relación con esta temperatura, es decir, a mayor presión habrá mayor temperatura y viceversa. La presión obtenida en ésta relación recibe el nombre de presión absoluta generada por el vapor.

La presión absoluta se expresa en libras por pulgada cuadrada (psi) y hace referencia a la lectura del vapor contenido dentro de la cámara a un vacío perfecto. La presión que se observa en el manómetro no es exactamente la que se encuentra en la recámara sino la presión absoluta menos la presión atmosférica también dada en (psi).

$$Psi(\text{manómetro}) = Psi(\text{absoluta}) - Patmósfera^8$$

Entonces la presión del manómetro dependerá de la presión atmosférica donde se encuentre situado el autoclave ya sea más o menos cerca del nivel del mar. La presión sobre el nivel del mar es alrededor de 15 psi; cuando la puerta del autoclave se abre se puede observar que al presión en el manómetro es cero. Cuando la puerta se cierra, la presión sube hasta que iguala alrededor de los 15 psi de la atmósfera de sobrepresión.

La relación entre la presión total y la presión de vapor saturado es constante y es una propiedad física del vapor de agua. Como la presión a nivel del mar es siempre 15 psi más baja que la presión absoluta, se puede usar la presión del manómetro y la temperatura equivalente para evaluar la operación del autoclave. Si la presión excede a la temperatura cuando el vapor es saturado, esto significa que el vapor contiene aire. Si la presión es más baja de la indicada se dice que hay un sobrecalentamiento, lo que significa que el vapor ésta seco y que la transferencia de calor está siendo poco efectiva y el proceso de esterilización no se llevará a cabo correctamente.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de la relación entre presión absoluta y temperatura<sup>9</sup> (Figura 5).

---

<sup>8</sup> Neumática Niche [Internet] [Consultado 10 de Mayo de 2010] Disponible en: <http://sitioniche.nichese.com/presion.html>

<sup>9</sup> Calderas de Vapor. [Internet] [Consultado 16 de Septiembre de 2011] Disponible en [http://www.calderasvapor.com/relac\\_vapor\\_0-10\\_bar.htm](http://www.calderasvapor.com/relac_vapor_0-10_bar.htm)

PRESIÓN RELATIVA	PRESIÓN ABSOLUTA	TEMPERATURA
bar	bar	°C
0,00	1,013	100,00
0,20	1,213	105,10
0,40	1,413	109,55
0,60	1,613	113,56
0,80	1,813	117,14
1,00	2,013	120,42
1,20	2,213	123,46
1,40	2,413	126,28
1,60	2,613	128,89
1,80	2,813	131,37
2,00	3,013	133,69
2,20	3,213	135,88
2,40	3,413	138,01
2,60	3,613	140,00
2,80	3,813	141,92
3,00	4,013	143,75
3,20	4,213	145,46
3,40	4,413	147,20
3,60	4,613	148,84
3,80	4,813	150,44
4,00	5,013	151,96
4,20	5,213	153,40
4,40	5,413	154,84
4,60	5,613	156,24
4,80	5,813	157,62
5,00	6,013	158,92

Figura. 5 Tabla de Relación Temperatura y Presión para Vapor Saturado  
Fuente: [http://www.calderasvapor.com/relac\\_vapor\\_0-10\\_bar.htm](http://www.calderasvapor.com/relac_vapor_0-10_bar.htm)

### 2.1.1.3 Métodos de prueba de funcionamiento de un autoclave

- **Prueba Química**

Una prueba química para autoclave consiste en un indicador que cambia de color al estar expuesto a las condiciones ideales de temperatura dentro de la cámara de esterilización. Uno de los fabricantes más precisos y eficientes de éste tipo de pruebas es 3M (Figura 6) como se ve a continuación en la prueba 1243A ver Anexo C.



Figura. 6 Indicador Químico 1243 3M

Fuente:

<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUm8BNx2GevUqevTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=70-2009-0710-6.pdf>

- **Prueba Biológica**

Las pruebas biológicas contienen una espora de *Geobacillus stearothermophilus*, una bacteria gram positiva encargada de la descomposición de los alimentos. Ésta espora es utilizada debido a su alta resistencia a condiciones agrestes de altas temperaturas. De igual forma la empresa 3M (Figura 7) desarrolló indicadores biológicos de fácil lectura para la cual no se necesita un laboratorio especializado sino únicamente una incubadora a la temperatura requerida por el manual y el

reconocimiento de los colores. Para ver utilización de la prueba dirigirse al Anexo D.



Figura 7. Indicador Biológico Attest 1262 3M

Fuente:

<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtmXfa4Xf6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->

## **2.1.2 PARTES MECÁNICAS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EQUIPOS AUTOCLAVES**

Es preciso conocer aunque no se esté planteando un diseño mecánico para el equipo autoclave, los tipos de materiales y de partes mecánicas que lo conforman ya que de ésta manera se puede conocer y entender de mejor manera el proceso que se debe digitalizar. A continuación se observaran algunos de dichos materiales y partes mecánicas.

### **2.1.2.1 ACERO INOXIDABLE**

Existen diferentes tipos de acero inoxidable destinados a diferentes usos de acuerdo a su composición y aleaciones, entre estos tipos de acero inoxidable de acuerdo a su microestructura se tienen:

- **Aceros Inoxidables Austeníticos:**

Estos aceros pertenecen a la familia de los llamados Cromo-Níquel y se pueden encontrar por su serie 300, son derivados de la aleación de níquel y cromo es decir agregando a un acero con 18% de cromo un 8% de níquel.

Como primera característica de éste tipo de aceros, se tiene su plasticidad y tenacidad lo que implica alta resistencia a impactos incluso a cantidades extremas de baja temperatura.

Cuando se requieren aplicaciones con altos niveles de corrosión se debe tener en cuenta un control del nivel de carbono presente en el acero debe ser por el orden de 0,08% presente en los aceros de serie 304 y 316. Si los aceros de éste tipo necesitan ser soldados se debe cuidar aún más el nivel de carbono, reduciéndolo a un 0,03% obteniendo una serie paralela llamada 304L y 316L.

Es importante recalcar sobre la familia de los aceros inoxidables austeníticos de serie 300 que no son magnéticos, son altamente utilizados debido a su alta ductilidad, soldabilidad y alta resistencia a la corrosión en la fabricación de recipientes y tuberías para usos químicos.<sup>10</sup>

### **2.1.2.2 VÁLVULAS SOLENOIDES**

Una válvula solenoide es un dispositivo eléctrico con el cual se puede controlar el flujo de un líquido un gas mediante dos posiciones totalmente abierta o totalmente cerrada. Debido a estas dos posiciones, una válvula solenoide no puede regular dicho flujo puesto que no tiene posiciones intermedias.

---

<sup>10</sup> Clasificación de Aceros Inoxidables [Internet] [Consultado 16 Septiembre de 2011] Disponible en: <http://bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>

La válvula recibe el nombre de solenoide por la bobina que lleva integrada y que debe ser energizada para generar un campo magnético que atraerá un embolo que dará la posición de abierta o cerrada a la válvula (Figura 8).

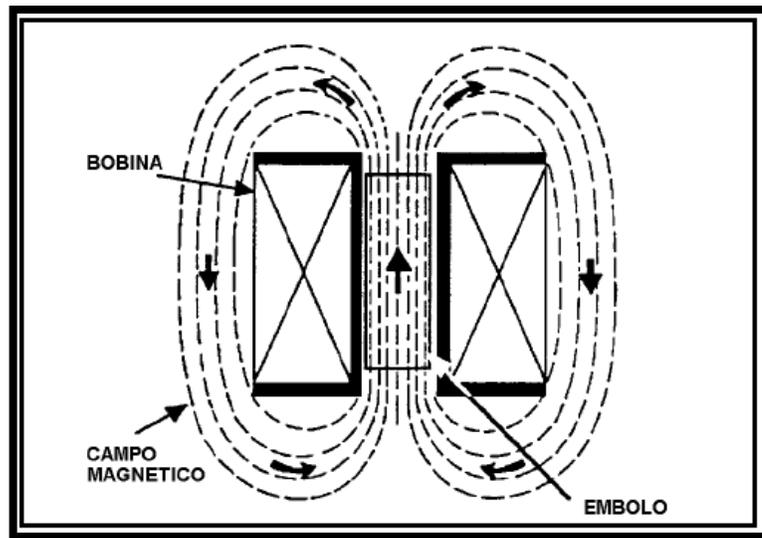


Figura 8. Solenoide Energizado  
Fuente: <http://www.tecnoficio.com/docs/doc68.php>

### 2.1.3 PANTALLAS LCD

#### 2.1.3.1 Principios Básicos

Por sus siglas LCD (Liquid Cristal Display- Pantalla de Cristal Líquido)<sup>11</sup> las pantallas LCD usan una tecnología donde se fusionan elementos sólidos y líquidos. Los sólidos son dos cristales que poseen hendiduras de tamaño similar a las moléculas del cristal líquido (nemático) que se introduce entre dichas láminas; la parte líquida que se muestra en la figura. Las láminas de vidrio se ubican de

<sup>11</sup> Tecnología LCD [Internet] [Consultado 16 Septiembre 2011] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/65724157/LCD>

forma que sus hendiduras queden de forma perpendicular entre ellas generando así un eje óptico que orientará a las moléculas del líquido.

Finalmente, se agregan dos polarizadores uno de ellos con un espejo que reflejara la luz para que pueda ser vista por el usuario. Cuando se aplica un campo eléctrico a la célula de cristal líquido, se genera una posición on / off en cada pixel, el cristal tiene cierta iluminación cuando se polariza la pantalla, si no se le aplica un campo eléctrico entonces cada pixel estará iluminado, dicha luz se reflejará en el espejo y finalmente el usuario verá el pixel en blanco como se ve en la siguiente imagen; por otro lado si se aplica un campo eléctrico las células de cristal líquido que se encuentran sobre el eje del que se habló anteriormente cambian su orientación de forma que la luz que pueda estar polarizada en ellas no se refleje y el pixel se muestre oscuro (Figura 9).

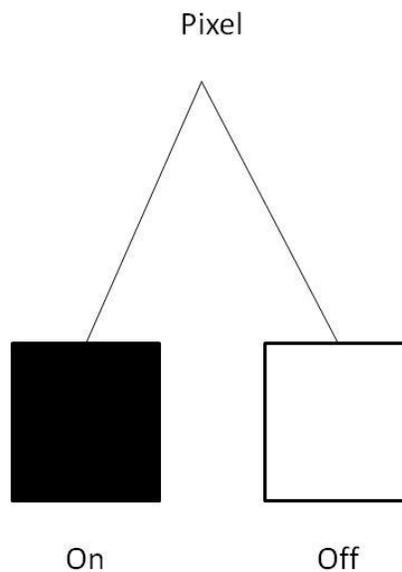


Figura 9. Funcionamiento de los Pixeles de una LCD. Fuente: Autor

### 2.1.3.2 LCD de 2X16 y 4X16 alfanuméricas

- **Características Básicas**

Las pantallas LCD de 2X16 (Figura10) permiten escribir en dos filas con 16 caracteres, o bien pueden ser de 4 filas con 16 caracteres cada una. A continuación se muestra una LCD de 2X16 y una de 4X16.



Figura 10. Pantalla LCD alfanumérica con resolución de 2X16

Fuente: [http://www.skpang.co.uk/catalog/lcd-displays-16x2-lcd-5v-c-91\\_206.html](http://www.skpang.co.uk/catalog/lcd-displays-16x2-lcd-5v-c-91_206.html)

Estas dos pantallas son controladas generalmente con el chip HD44780 de Hitachi. Cuando se encuentran otros controladores se observa que han sido adaptados para tener el mismo funcionamiento del Hitachi, lo cual hace que la elección de éstas LCD sea más sencilla en cuanto a su control; lo más probable es que los usuarios terminen escogiendo dichas LCD dependiendo más por su apariencia física que por su tipo de control.

Las LCD alfanuméricas con el controlador nombrado anteriormente proporcionan la posibilidad de envío de datos por bits que son adquiridos y revisados por su programa interno que compara la información recibida con tablas, esta operación

se hace repetitiva por lo que se han librerías que dirigen la información facilitando la interfaz con la persona que esté efectuando el programa.

- **Consumo eléctrico**

Las especificaciones eléctricas de la LCD se pueden observar a continuación:

<b>CONSUMO ELÉCTRICO DE LA LCD</b>	
CONSUMO EN VOLTAJE	+5 ±2,7 ±3.3V Según sea el tipo de conexión
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	0~+50°C
Consumo en corriente si posee un LED de Backlight Verde o Amarillo	150mA
Consumo en corriente si posee un LED de Backlight Blanco	45 mA

Tabla 1. Consumo eléctrico de una LCD alfanumérica

Las pantallas LCD alfanuméricas deben ser escogidas con cuidado debido a que su luz de fondo (Backlight) consume la mayor parte potencia para su encendido (Tabla 1), se debe tener un buen circuito de alimentación o en su defecto escoger preferiblemente una LCD con una luz de fondo que requiera de menos potencia; en la tabla se puede observar en qué casos la LCD consumiría menos corriente de un circuito de alimentación principal.

### **2.1.3.3 LCD GRAFICA DE 128X64**

Los display gráficos son utilizados generalmente para dispositivos que necesiten de información gráfica para sus procesos aunque también proporcionan una mejora estética de los mismos.

Estos display poseen de igual manera un controlador que permite comprender la información que se envíe desde el microcontrolador. Los controladores más frecuentes son el KS0108 de Samsung o el T6963 de Toshiba; estos controladores tienen características diferentes entre sí pero a la hora de su programación o del manejo de su librería se pueden llegar a varias similitudes.

Las librerías para el control de las LCD gráficas o GLCD pueden variar de acuerdo al compilador que se use para la programación del microcontrolador; sin embargo se deben tener en cuenta las licencias de dichos controladores para el uso apropiado de las librerías, en ciertos casos es preferible modificar dichas librerías adaptándolas a cada circuito en particular de forma que cumplan siempre las leyes en cuanto a licencias.

- Especificaciones técnicas

T <sub>a</sub> =20°C, 60%RH, Darkroom.				
Item	Symbol	Typ.	Max.	Unit
LED input voltage	V <sub>LED</sub>	5	6	V
LED input current	I <sub>LED</sub>	480	550	mA
Built-in current limit resistor	R1	-	-	Ohms, W
Recommended external current limit resistor	R2	1.6 Ohm, 1W	-	Ohms, W
Number of LED nodes	N	48	-	-

V <sub>DD</sub> =5±0.25V; T <sub>a</sub> =25°C						
Item	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input "High" voltage	V <sub>IH</sub>	-	0.8	-	V <sub>DD</sub>	V
Input "Low" voltage	V <sub>IL</sub>	-	V <sub>SS</sub>	-	0.2V <sub>DD</sub>	V
Output "High" voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>OH</sub> =0.205mA	2.2	-	-	V
Output "Low" voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> =1.2mA	-	-	0.8	V
Power supply current	I <sub>EE</sub>	V <sub>EE</sub> =-18V	-	6	-	mA
Power supply current	I <sub>DD</sub>	V <sub>DD</sub> =5.0V	-	10	-	mA

Figura 11. Especificaciones técnicas de la pantalla LCD gráfica de resolución 128X64

Fuente: <http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Corrected-SFE-0016-DataSheet-08884-SerialGraphicLCD-v2.pdf>

## 2.1.4 DISPOSITIVOS PARA EL REGISTRO DE DATOS

### 2.1.4.1 Dispositivo de almacenamiento

- **Memorias SD**

Las memorias SD son dispositivos que usan tecnología flash NAND, éste es un tipo de memoria que tiene la capacidad de almacenar datos y de ser re escribible,

tal como lo sería una memoria RAM (Figura 12) pero con la ventaja que al dejar de suministrarle energía los datos allí dispuestos no se eliminan.

### Memoria Kingston de 8 GB

<b>Detalles técnicos</b>	
Factor de forma	9-pin SecureDigital (SD)
Tipo de memoria	Flash
"Plug and play"	Si
Diseño de memoria	1 x 8192 MB
Conmutador protección contra escritura	✓
Registrado	✗
Garantía	Lifetime
Source data-sheet	ICEcat.biz
<b>Memoria</b>	
Memoria interna	8192 MB
Tipo de tarjeta flash	Secure Digital High-Capacity (SDHC)
Velocidad de transferencia	4 MB/s
<b>Requisitos del sistema</b>	
Sistemas operativos compatibles	Windows XP, 2000, 95, 98, NT\nMac OS, OS/2
<b>Peso y dimensiones</b>	
Dimensiones (Ancho x Profundidad x Altura)	24 x 32 x 2.1 mm
Peso	2.3 g
<b>Control de energía</b>	
Voltaje de entrada	3.3 MB/s
<b>Condiciones ambientales</b>	
Alcance de temperatura operativa	-25 - 85 °C
Temperatura	-40 - 85 °C
<b>Color</b>	
Color de producto	Azul

Figura 12. Especificaciones Técnicas de la Memoria SD de 8 GB

Fuente:

[http://www.accessonic.com/catalogo.html?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=299&category\\_id=9](http://www.accessonic.com/catalogo.html?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=299&category_id=9)

#### 2.1.4.2 Dispositivo de impresión

- **Impresora EPM-203 de APS**

La impresora EPM-203 (Figura 13) es del tipo térmico, cada una de sus partes funciona automáticamente después de recibir la orden del programa para impresión.

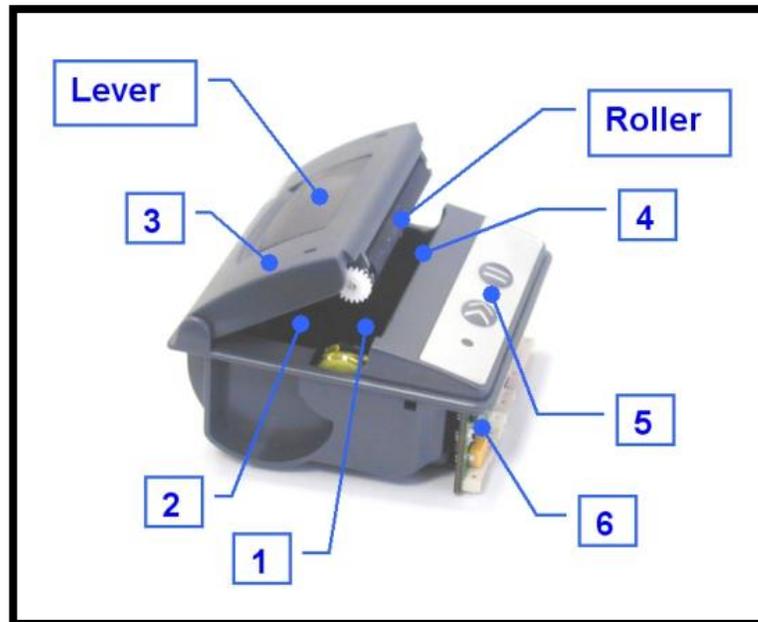


Figura 13. Impresora EPM – 203 de APS. 1: Mecanismo de Impresión. 2: Cavidad para rollo de papel. 3: Cubierta para papel. 4: Barra dentada para corte de papel. 5: Panel de control. 6: Circuito de control.

Fuente: [http://www.telpar.com/files/drivers\\_support/manuals/aps\\_epm203-mrs\\_rev\\_g\\_manual.pdf](http://www.telpar.com/files/drivers_support/manuals/aps_epm203-mrs_rev_g_manual.pdf)

## 2.1.5 DISPOSITIVOS CONTROLADORES

### 2.1.5.1 PLC SIMATIC s7 300

Sistema de automatización para aplicaciones de gama baja y media; ofrece versatilidad al ser programable internamente se puede proponer para diferentes aplicaciones, sus especificaciones (Tabla 2) se acomodan perfectamente a las aplicaciones que se desee.

Especificaciones técnicas:

Memoria	16Kb para memoria de carga 4MB para memoria FEPR0M
Tiempos de Ejecución	Aritmética con enteros 2 $\mu$ s Aritmética con flotantes 30 $\mu$ s
Lenguaje de Programación	STEP SCL GRAPH HiGraph
Voltaje de alimentación	24 voltios DC
Canales	256 Canales Digitales 64 Canales Analógicos

Tabla 2. Especificaciones técnicas del PLC SIMATIC 300

### 2.1.5.2 Microcontrolador MC9S08SE8

Microcontrolador con unidad de proceso de 8 bits, con oscilador interno de frecuencias hasta de 10MHz, su control análogo digital posee 10 canales a 10 bits. Posee 28 pines donde 24 pueden ser configurados como entradas y salidas (Figura 14).

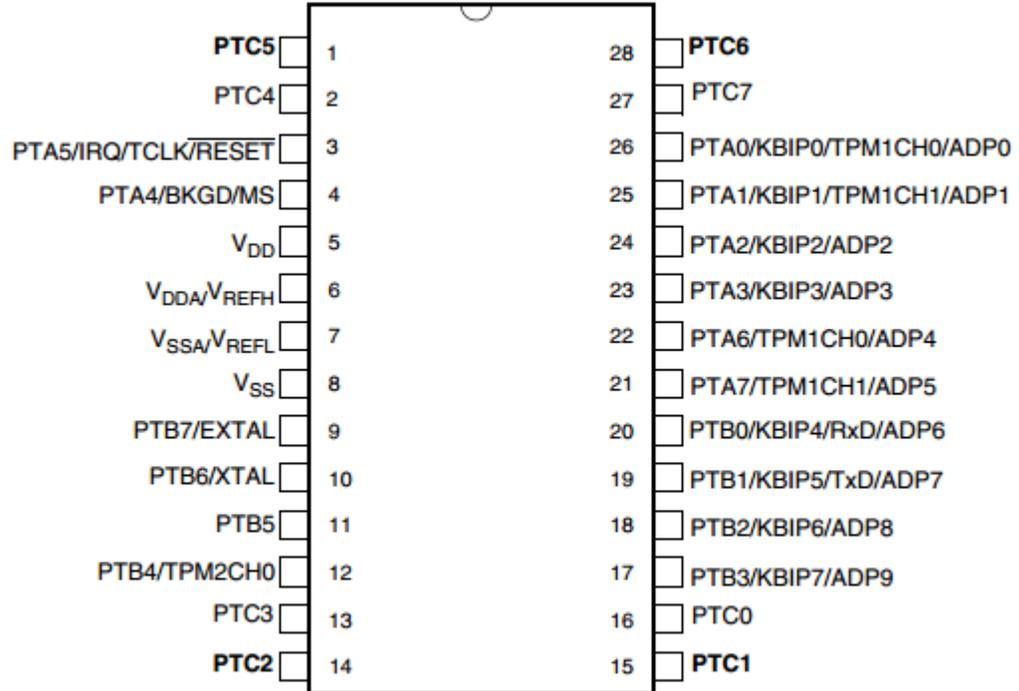


Figura 14. Diagrama de Pines del *MC9S08SE8*

Fuente: [http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data\\_sheet/MC9S08SE8.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08SE8.pdf)

### 2.1.5.3 Microcontrolador 18F4550

Los microcontroladores PIC de la familia 18 son de alta gama con nuevas características de memoria que los hacen aún más versátiles al momento de su programación.

Algunas de las principales características que podemos encontrar en los PIC 18F son:

- Arquitectura RISC avanzada Harvard: 16-bit con 8-bit de datos.
- 77 instrucciones
- Desde 18 a 80 pines (Figura 15)
- Hasta 64K bytes de programa (hasta 2 Mbytes en ROMless)
- Multiplicador Hardware 8x8
- Hasta 3968 bytes de RAM y 1KBytes de EEPROM
- Frecuencia máxima de reloj 40Mhz. Hasta 10 MIPS.
- Múltiples fuentes de interrupción
- Periféricos de comunicación avanzados (CAN y USB)

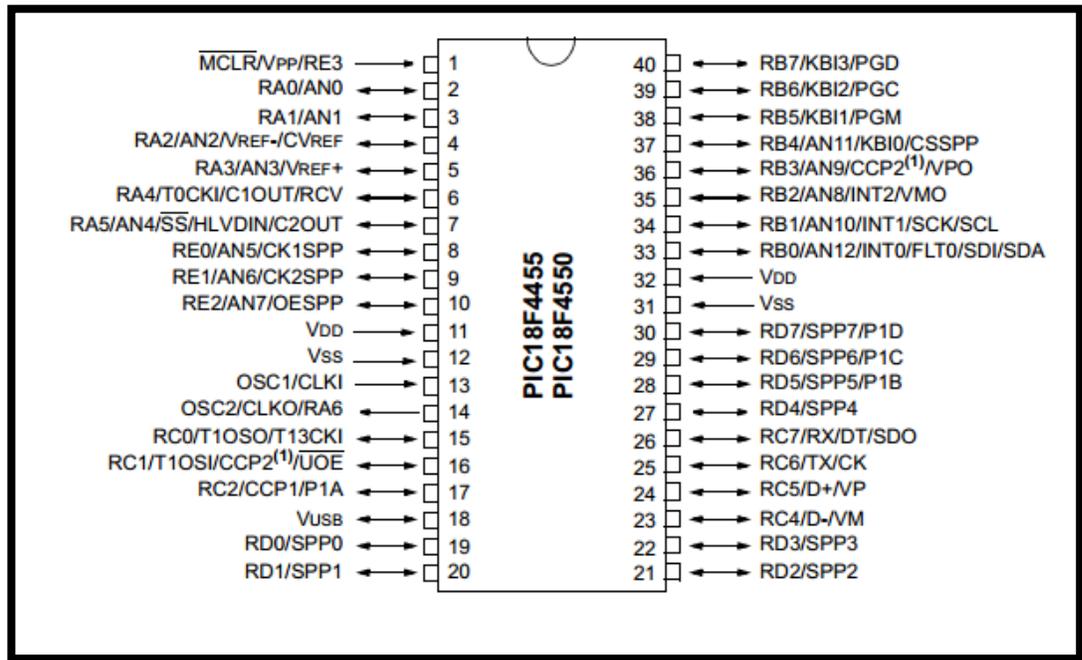


Figura 15. Diagrama de Pines del Pic18f4550

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/2940003/PIC18F4550>

### 2.1.6 DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los sensores son dispositivos utilizados con el fin de adquirir una señal ya sea eléctrica o digital dependiendo a un cambio ambiental o físico del dispositivo que se está diseñando. Los sensores que podrían utilizarse para este proyecto se pueden dividir de dos grupos principales, sensores de Temperatura o sensores de Presión.

### 2.1.6.1 Sensores para Temperatura

#### Definición y características de diferentes tipos de sensores de temperatura

Los sensores de temperatura tienen una estructura de funcionamiento dependiendo de la forma en la que la midan. Las variables que se pueden observar para sensar temperatura son:

Variaciones en volumen o estados de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)

Variación de la resistencia de un conductor (sondas de resistencia)

Variación de resistencia de un semiconductor (termistores)

*Fem* creada de la unión de dos metales distintos (termopar)

*Intensidad de la variación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)*

- **LM35**

#### Características

El LM35 es un sensor que consta de un circuito integrado de precisión cuyo voltaje de salida es lineal proporcionalmente a los grados Celsius de temperatura a los que esté expuesto. Los LM35 son calibrados en grados Kelvin lo cual los hace muy precisos al momento de dar su resultado en centígrados.

Los LM35 no requieren de una calibración externa para trabajar en el rango que tienen especificados, lo cual los hace versátiles para su uso.

En general, las características de los LM35 se pueden resumir en los siguientes puntos.

Calibración directa en grados Celsius

Variación lineal de 10mV/°C

Margen de error de 0.5°C

Posee un rango de medición de -55 a 150 °C

Su Voltaje de Operación es de 4 a 30 voltios

Corriente de drenaje 60µA

Para su aplicación en altas temperaturas y altas presiones se debe tener en cuenta el tipo de encapsulado, la Figura 16 muestra una comparación entre los tipos de encapsulado y su resistencia al calor.

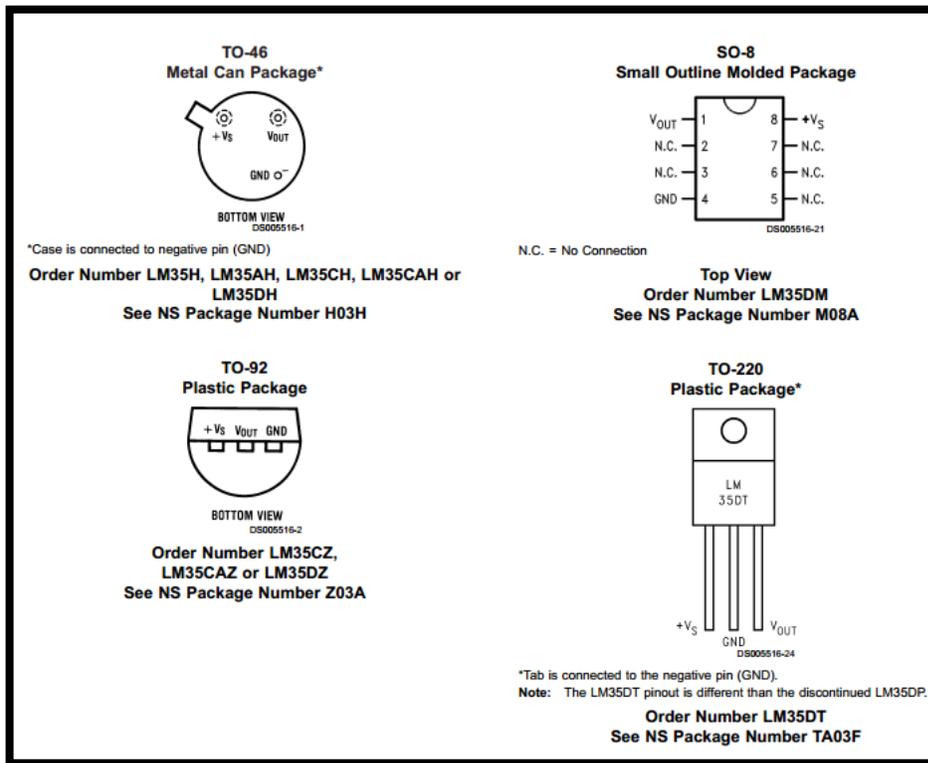


Figura 16. Encapsulado del sensor LM35 Fuente: [www.national.com/ds/LM/LM35.pdf](http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf)

- **TERMOCUPLA TIPO K**

La termocupla tipo K se conoce también como la termocupla Chromel – Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% níquel, más aluminio, silicio y magnesio (Figura 17). La termocupla tipo k es la más utilizada en la industria debido a que puede resistir mayores temperaturas que otras termocuplas.

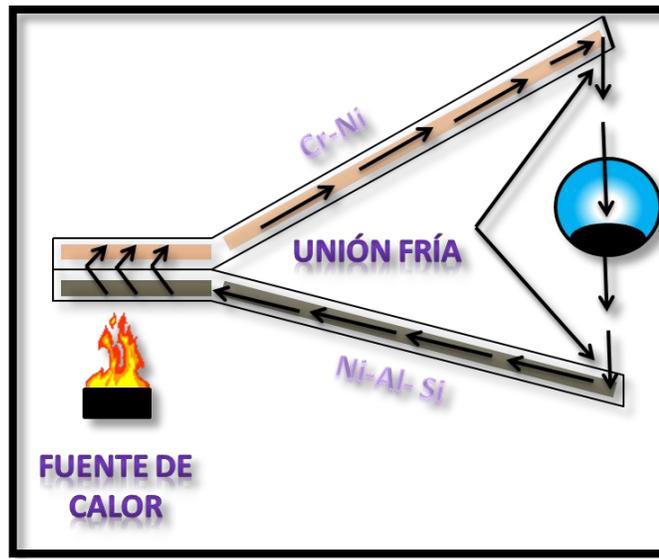


Figura 17. Diagrama de Funcionamiento de una termocupla tipo K Fuente: Autor

Las termocuplas tipo k pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1.260°C y constituyen el tipo más satisfactorio de termocupla para uso en atmósferas reductoras o sulfurosas en vacío.

- **PT100**

Un Pt100<sup>12</sup> es un sensor de temperatura del tipo termo resistivo. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

<sup>12</sup> Pt100 [Internet] [Consultado 18 Septiembre de 2011] Disponible en : <http://www.ingecoza.com/pt100.pdf>

Normalmente las Pt100 (Figura 18) industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).



Figura 18. PT100 Fuente: <http://www.bellnw.com/manufacture/Instek/PT-100.htm>

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

### 2.1.6.2 Sensores para Presión

Los sensores de presión se pueden clasificar según su funcionamiento en las siguientes categorías: Mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

- **Sensor de Presión SPTW**



Figura 19. Sensor SPTW de Festo Fuente: [www.festo.com/pnf/es-co\\_co/products/catalog](http://www.festo.com/pnf/es-co_co/products/catalog)

El sensor de presión SPTW festo (Figura 19) tiene dos tipos de sensor que varía en su forma de funcionamiento al momento de obtener su salida en voltios como se puede ver en la Figura 20.

Método de medición	Margen de medición de la presión [bar]	Magnitud medida	Conexión neumática	Tensión de funcionamiento [V DC]	Conexión eléctrica
Sensor de presión de resistencia piezoeléctrica	-1 ... +1	Presión relativa	G $\frac{1}{4}$	8 ... 30	Conector redondo tipo clavija M12x1 de 4 contactos, según EN 60947-5-2
	0 ... 2				
	0 ... 6				
Sensor de presión de lámina metálica delgada	0 ... 10	Presión relativa	G $\frac{1}{4}$	8 ... 30	Conector redondo tipo clavija M12x1 de 4 contactos, según EN 60947-5-2
	-1 ... +10				
	0 ... 16				
	0 ... 25				
	0 ... 50				
	0 ... 100				

Figura 20. Especificaciones técnicas Fuente: [http://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/SPTW\\_ES.PDF](http://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SPTW_ES.PDF)

Como se puede observar en Figura 21 el método de medición implica una mayor resistencia a la presión. En caso de medir presiones grandes se debe utilizar un sensor de presión de lámina metálica delgada.

Margen de medición de la presión	
B2	-1 ... +1 bar
B11	-1 ... +10 bar
P2	0 ... 2 bar
P6	0 ... 6 bar
P10	0 ... 10 bar
P16	0 ... 16 bar
P25	0 ... 25 bar
P50	0 ... 50 bar
P100	0 ... 100 bar

Entrada de presión	
R	Presión relativa

Conexión neumática	
G14	Rosca interior G1/4

Salida eléctrica	
A	4 ... 20 mA
VD	0,1 ... 10 V

Conexión eléctrica	
M12	Conector M12x1, 4 contactos

Figura 21. Especificaciones de Presión y Voltaje Fuente:

[http://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/SPTW\\_ES.PDF](http://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SPTW_ES.PDF)

Una de las principales funciones del sensor FESTO es que proporciona una consulta de presión y de vacío para fluidos gaseosos y líquidos. Sin embargo su tolerancia a la temperatura no es muy alta puesto que trabaja a temperaturas de 80°C.

- **Sensor Motrola MPX-5700**

El MPX-5700 (Figura 22) es un transductor piezo-resistivo diseñado especialmente para aplicaciones con microcontrolador con entradas de conversor análogo-digital.

Ese dispositivo utiliza un sistema que permite obtener resultados de alta fidelidad al momento de aplicar presión.

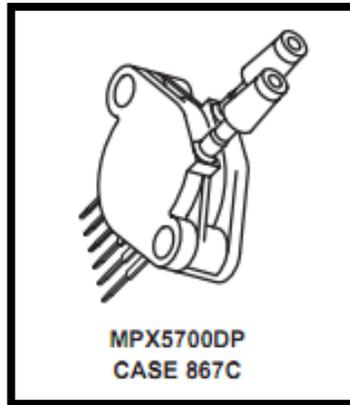


Figura 22. Sensor de Presión MPX5700 Fuente:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

Las características principales de este sensor son:

Posee un porcentaje de error del 2.5% en temperaturas de 0° a 85°C

Existen configuraciones para sensar presión absoluta y diferencial.

Presión de trabajo: 0 a 700 KPa (0 a 101.5 psi).

Voltaje de salida 0.2 a 4.7V

La Figura 23 muestra los parámetros extremos que soporta el sensor en cuanto a temperatura y presión:

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure <sup>(2)</sup> ( $P_2 \leq 1$ Atmosphere)	$P_{1max}$	2800	kPa
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to +125	°C
Operating Temperature	$T_A$	-40 to +125	°C

Figura 23. Parámetros de presión y temperatura del sensor MPX5700 Fuente:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

Características de operación del sensor MPX-5700 (Figura 24).

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range <sup>(1)</sup> Gauge, Differential: MPX5700D Absolute: MPX5700A	$P_{OP}$	0 15	—	700 700	kPa
Supply Voltage <sup>(2)</sup>	$V_S$	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	$I_o$	—	7.0	10	mAdc
Zero Pressure Offset <sup>(3)</sup> Gauge, Differential: (0 to 85°C) Absolute (0 to 85°C)	$V_{off}$	0.088 0.184	0.2	0.313 0.409	Vdc
Full Scale Output <sup>(4)</sup> (0 to 85°C)	$V_{FSO}$	4.587	4.7	4.813	Vdc
Full Scale Span <sup>(5)</sup> (0 to 85°C)	$V_{FSS}$	—	4.5	—	Vdc
Accuracy <sup>(6)</sup> (0 to 85°C)	—	—	—	± 2.5	% $V_{FSS}$
Sensitivity	$V/P$	—	6.4	—	mV/kPa
Response Time <sup>(7)</sup>	$t_R$	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	$I_{O+}$	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time <sup>(8)</sup>	—	—	20	—	ms

Figura 24. Características técnicas del sensor Fuente:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

### 2.1.7 Ley de Gay Lussac

Esta Ley fue enunciada por Joseph Louis Gay-Lussac <sup>13</sup> a principios de 1800. Establece que la presión de un volumen fijo de gas, es directamente proporcional a su temperatura.

Al aumentar la temperatura, las moléculas del gas se mueven más rápidamente y por tanto aumenta el número de choques contra las paredes, es decir aumenta la presión ya que el recipiente es de paredes fijas y su volumen no puede cambiar.

Gay-Lussac descubrió que en cualquier momento de este proceso, el cociente entre la presión y la temperatura siempre tenía el mismo valor:

$$K = \frac{P}{T} \quad 14$$

Si se supone un gas a una presión  $P_1$  y una temperatura  $T_1$  y se va aumentando gradualmente la temperatura hasta un punto  $T_2$ ; la presión por consiguiente aumentará hasta un punto  $P_2$ , cumpliéndose así lo siguiente:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad 15$$

---

<sup>13</sup> Ley de Gay-Lussac [Internet] [Consultado 10 Octubre de 2011] Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos\\_informaticos/andared02/leyes\\_gases/ley\\_gaylussac.html](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/andared02/leyes_gases/ley_gaylussac.html)

<sup>14</sup> Ley de Gay-Lussac [Internet][Consultado 10 Octubre de 2011] Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos\\_informaticos/andared02/leyes\\_gases/ley\\_gaylussac.html](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/andared02/leyes_gases/ley_gaylussac.html)

<sup>15</sup> Ley de Gay Lussac [Internet] [Consultado 10 Octubre de 2011] Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos\\_informaticos/andared02/leyes\\_gases/ley\\_gaylussac.html](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/andared02/leyes_gases/ley_gaylussac.html)

### **2.1.8 Sistemas de Control**

Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control.

Existen varios tipos de control de procesos y variables a continuación se ven los controles más utilizados en la industria.

#### **2.1.8.1 Control On-Off**

En éste modo de control la salida oscila de un lado al otro cuando se desvía del set-point. Es la forma de control más sencilla de implementar y por ende muy utilizado en la industria.

En la figura 25 se puede observar la gráfica de respuesta del control ON-OFF.

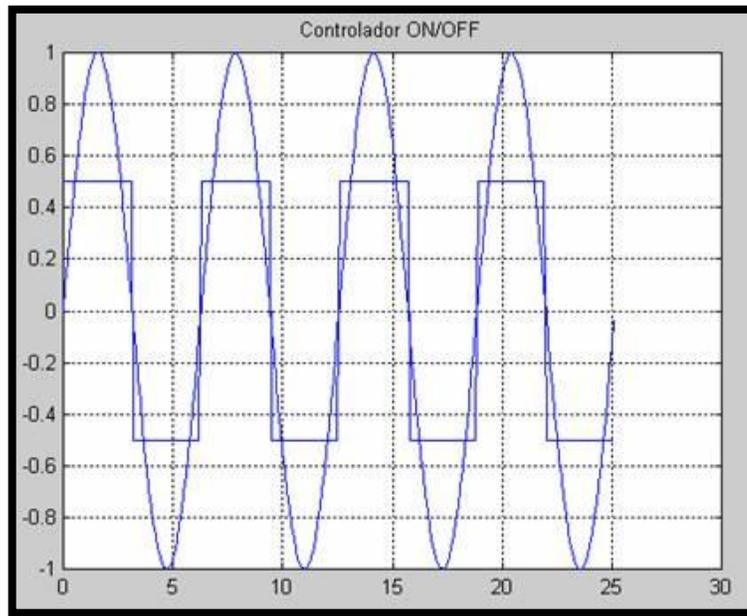


Figura 25. Gráfica de respuesta del control ON-OFF Fuente: <http://es.scribd.com/doc/43436797/EI-Control-on-Off>

Ventajas	Desventajas
- Bajo precio de implementación	- Poca precisión
- Instalación y Mantenimiento sencillo	- Amplia fatiga del actuador
- Amplia utilización en procesos industriales de poca precisión.	- No recomendable para procesos de alto riesgo.

Tabla 3. Ventajas y desventajas del control On-Off

### 2.1.8.2 Control Proporcional

Un controlador proporcional calcula la diferencia entre la señal de variable de proceso y la señal de set point, lo que se va llamar error. Su característica principal es el offset que reduce pero no elimina el error.

A continuación se puede observar la ecuación para este tipo de control

$$m = K_p * e + b \text{ }^{16}$$

Donde:

m = Salida del controlador

e = Error (diferencia entre PV y SP)

Kp = ganancia proporcional

B = condiciones iniciales o "bias"

Respuesta del control (figura 26)

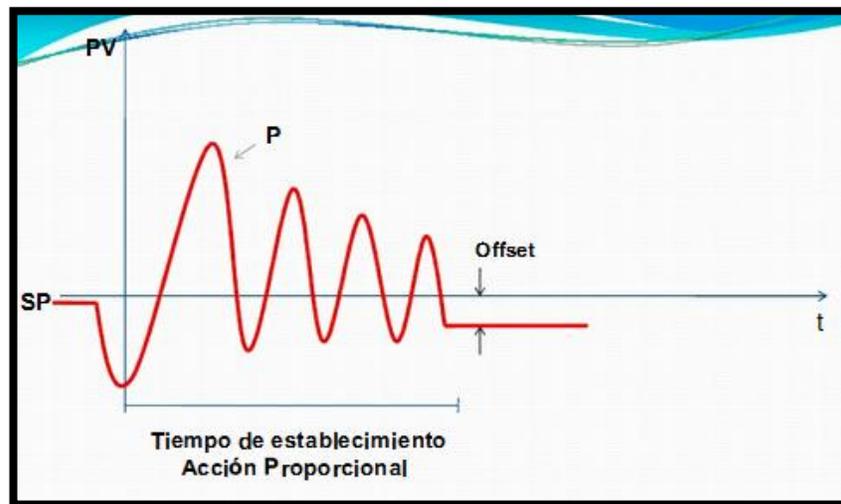


Figura 26. Respuesta de Control proporcional Fuente: <http://es.scribd.com/doc/56525723/Control-Proporcional>

Ventajas	Desventajas
- Aplicación instantánea	- Falta de inmunidad al ruido
- Prueba de resultados de forma rápida	- Falta de corrección de errores

Tabla 4. Ventajas y desventajas del control proporcional.

<sup>16</sup> Control Proporcional [Internet] [Consultado 10 de Junio de 2012] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/56525723/Control-Proporcional>

### 2.1.8.3 Control PID

El controlador PID es el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado.

El lazo básico del control PID teniendo una entrada sencilla y una salida sencilla (SISO) se observa en la figura 27:

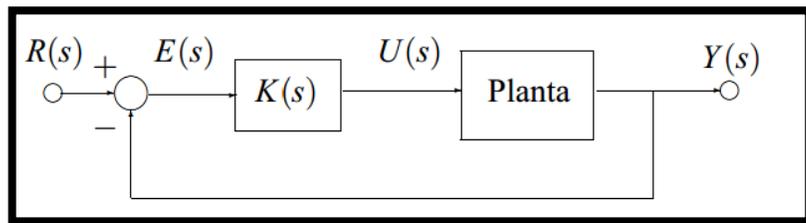


Figura 27. Lazo Básico de control PID Fuente:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

Donde en el control se pueden tener cuatro formas estándar diferentes de aplicación:

- Proporcional

$$K_p(s) = K_p^{17}$$

- Proporcional e Integral

$$K_{pi}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_r s} \right)^{18}$$

- Proporcional derivativo

<sup>17</sup> Control PID [Internet] [Consultado 10 Junio 2012] Disponible en:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

<sup>18</sup> Control PID [Internet] [Consultado 10 Junio 2012] Disponible en:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

$$K_{pid}(s) = K_p \left( 1 + \frac{T_d s}{\tau_d s + 1} \right) \quad ^{19}$$

- Proporcional Integrativo Derivativo

$$K_{pid}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_r s} + \frac{T_d s}{\tau_d s + 1} \right) \quad ^{20}$$

A continuación en la figura 28 se pueden observar las gráficas de respuesta de un control PID para la simulación de un sistema de lazo cerrado.

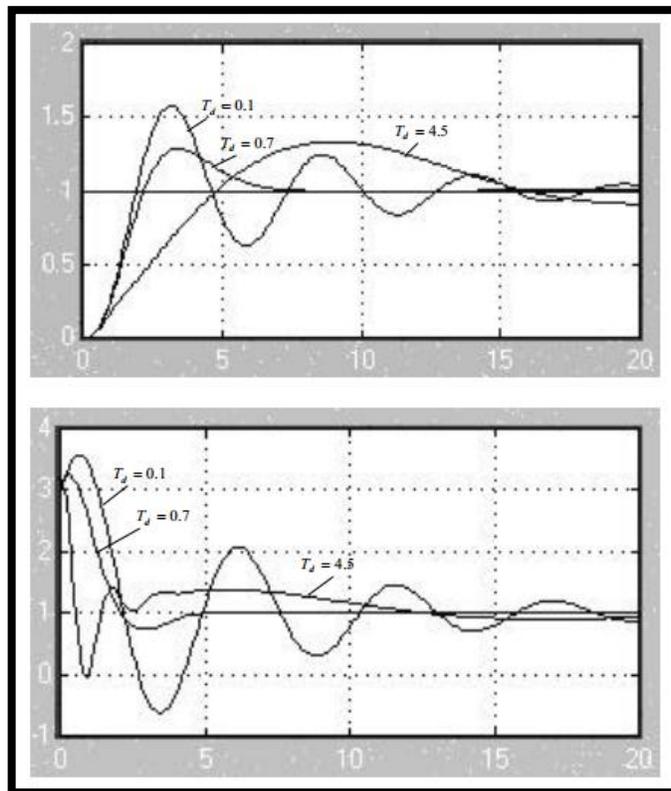


Figura 28. Respuesta del control PID Fuente:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

<sup>19</sup> Control PID [Internet] [Consultado 10 Junio 2012] Disponible en:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

<sup>20</sup> Control PID [Internet] [Consultado 10 Junio 2012] Disponible en:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

El algoritmo del control se puede observar de forma serial o paralela, a continuación en la figura 29 se observa un diagrama de la forma paralela.

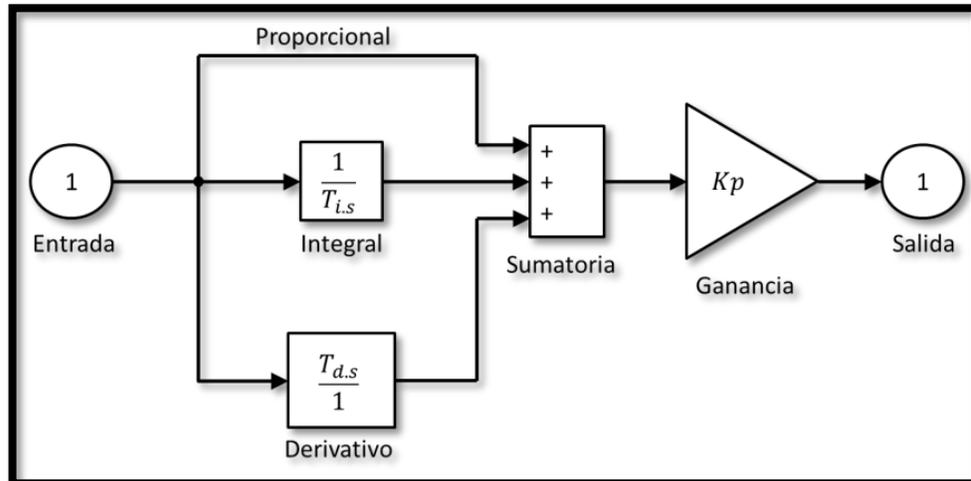


Figura 29. Forma de control Proporcional Fuente:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

#### 2.1.8.4 Ajuste empírico de controladores PID.

Existen dos métodos clásicos para la sintonización de un PID de forma empírica que son:

- Método de oscilación de Ziegler/ Nichols
  1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia  $K_p$  pequeña.
  2. Aumentar el valor de  $K_p$  hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador ( $u(t)$ ).
  3. Registrar la ganancia crítica  $K_p = K_c$  y el período de oscilación  $P_c$  de  $u(t)$ , a la salida del controlador.

4. Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo a la tabla 5:

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tabla 5. Cocientes de multiplicación para el método de Oscilación de Ziegler/Nichols Fuente:

<http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

Respuesta del sistema a lazo cerrado aplicando el método de oscilación Figura 30.

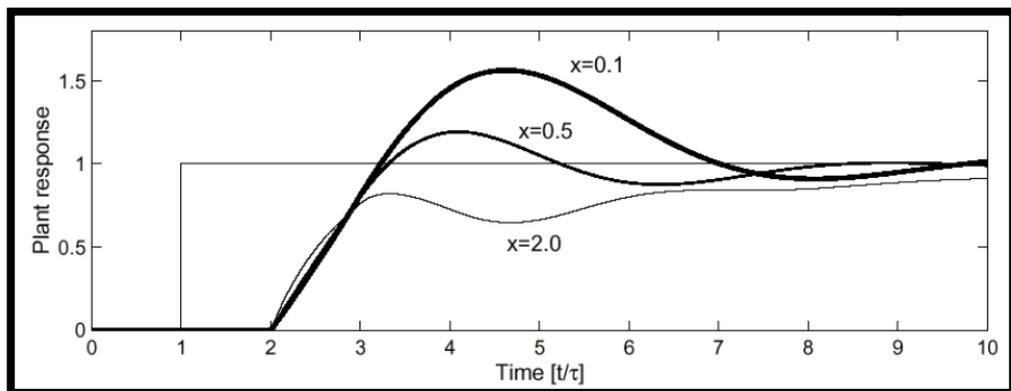


Figura 30. Respuesta del sistema en lazo cerrado después de implementar el método Fuetne: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

- Método de la curva de Ziegler/Nichols

Para garantizar el funcionamiento de la planta para éste tipo de control se lleva a cabo un experimento para lazo abierto con los siguientes pasos:

1. Llevar manualmente la planta a lazo abierto a un punto de operación normal manipulando  $u(t)$ . Supongamos que la planta se estabiliza en  $y(t) = y_0$  para  $u(t) = u_0$ .
2. En un instante inicial  $t_0$  aplicar un cambio escalón en la entrada, de  $u_0$  a  $u^\infty$  (el salto debe estar entre un 10 a 20 % del valor nominal).
3. Registrar la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. La Figura 31 muestra una curva típica.
4. Calcular los parámetros del modelo con las siguientes ecuaciones<sup>21</sup>:

$$K_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0}$$

$$K_p = \frac{1.2\gamma_0}{K_0 * \tau_0}$$

$$T_i = 2 * \tau_0$$

$$T_d = 0.5 * \tau_0$$

---

<sup>21</sup> Control PID [Internet] [Consultado 10 Junio 2012] Disponible en:  
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/C07.pdf>

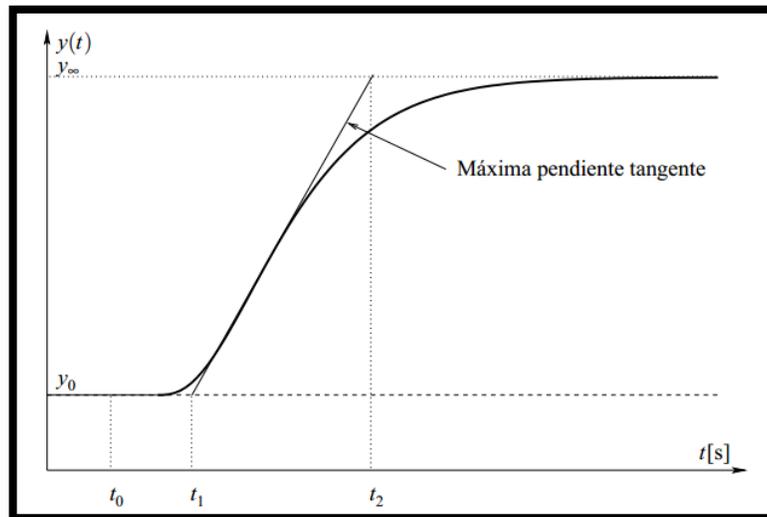


Figura 31. Curva de respuesta al escalón unitario Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

## 2.2 MARCO LEGAL

- Resolución 2183 de 2004 establece que

" que hace necesario establecer el manual de buenas practicas de esterilizacion que garantice a los usuarios la calidad de la atencion y regule las actividades en las centrales de esterilizacion de los prestadores de servicio de salud"

- Respecto a construcción y diseños de equipos biomédicos

DECRETO NUMERO 4725 DE 2005

26 DIC 2005

" El presente decreto tiene por objeto, regular el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria en lo relacionado con la fabricación."

- norma NTC 4618

Esterilización de productos para el cuidado de la salud. Requisitos para la validación y el control de rutina de la esterilización al calor húmedo en instituciones de salud.

"El esterilizador debe estar diseñado para operar con vapor saturado o mezclas preestablecidas de aire-vapor. Cuando se utilice vapor saturado, el vapor suministrado al esterilizador debe tener un valor seco menor a 0.95, conteniendo no más de 3.5% de volumen de fracción de gases no condensables y no debe sobrecalentarse a más de 5°C.

La caldera de vapor y las tuberías de transmisión deben ser de tamaño y capacidad suficientes para proveer al esterilizador una presión y volumen de vapor adecuadas. La fluctuación de la presión del vapor antes de la válvula de reducción no debe ser mayor a 2:1. Las trampas de vapor y aire se deben instalar para los gases condensados y no condensados de la tubería de vapor al esterilizador."

### 3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se tomaron pasos<sup>22</sup> específicos para el diseño electrónico como base metodológica ver figura 32.

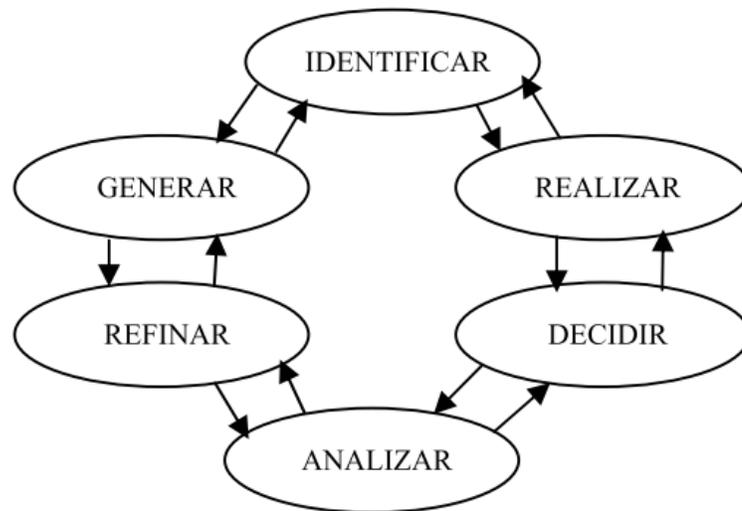


Figura 32. Etapas Generales del proceso de diseño electrónico

Fuente: Burkhardt, J. Lecture Notes on the Art of Design. The Indiana University-Purdue University Fort Wayne. 1996.

---

<sup>22</sup> Burkhardt, J. Lecture Notes on the Art of Design. The Indiana University-Purdue University Fort Wayne. 1996.

## **4. LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA**

### **4.1 Línea de investigación institucional: Tecnologías actuales y sociedad**

Este proyecto pertenece a esta línea de investigación puesto que el dispositivo hace parte de las tecnologías que hoy son necesarias no sólo por su funcionalidad sino por requisito legal. Además de esto, los autoclaves hacen parte del equipamiento requerido para el sector de salud y su papel en éste sector es de vital importancia para garantizar la salud de la sociedad.

### **4.2 Sub línea de facultad: Análisis y procesamiento de señales**

La autoclave digital pertenece a esta sub-línea de facultad debido a que es un dispositivo que maneja dos clases de variables principales, temperatura y presión, que deben ser controladas de forma precisa para garantizar su buen funcionamiento; por otro lado las autoclaves son usadas también en el sector industrial, lo que implica que se deba tener en cuenta como dispositivo industrial.

### **4.3 Núcleo problémico: control y micro electrónica**

El campo de investigación que se observa en este proyecto es control, puesto que como se ha dicho antes, es preciso hacer un seguimiento de las condiciones en el interior de la autoclave y además se debe controlar su estado con el fin de llegar a la temperatura y presión adecuada para llevar a cabo una esterilización exitosa.

## **5. DESARROLLO INGENIERIL**

El dispositivo desarrollado en éste proyecto permite llevar a cabo el proceso de esterilización de material quirúrgico y odontológico de forma eficiente y de fácil manejo para el usuario final.

Cada uno de los componentes utilizados se acoplan adecuadamente cumpliendo con los objetivos, junto con el programa diseñado permiten realizar el control, visualización y el registro de los procesos realizados por el autoclave.

### **5.1 Requerimientos**

Para llevar a cabo la adaptación de la parte electrónica a la planta del autoclave manual, es necesario tener en cuenta los siguientes requerimientos.

#### **5.1.1 Funcionales**

- Se requiere que el equipo al que se le implemente el sistema electrónico pase las pruebas químicas y biológicas de funcionamiento.
- La parte electrónica debe funcionar correctamente por al menos 2700 ciclos.
- El panel de control no debe tener mandos complejos para el usuario final.

#### **5.1.2 No Funcionales**

- El sistema debe tener un detector de nivel de agua que asegure una cantidad de 300 ml de agua en la cámara de esterilización.
- En el sistema debe tener visualización del proceso de esterilización.

- El sistema debe tener registro de datos
- El sistema debe ser capaz de detectar y dar aviso de sus posibles fallas de funcionamiento.

## 5.2 Funcionamiento General de un autoclave

Los autoclaves son recipientes de acero herméticos donde se genera presión mediante vapor de agua ya sea inyectado desde otra cámara u obtenido dentro de la misma; en éste proyecto se trabaja sobre un autoclave para uso especialmente odontológico. La presión dentro del tanque se obtiene mediante vapor de agua por ebullición.

A continuación se puede observar un diagrama del sistema general de funcionamiento de un autoclave (Figura 33).

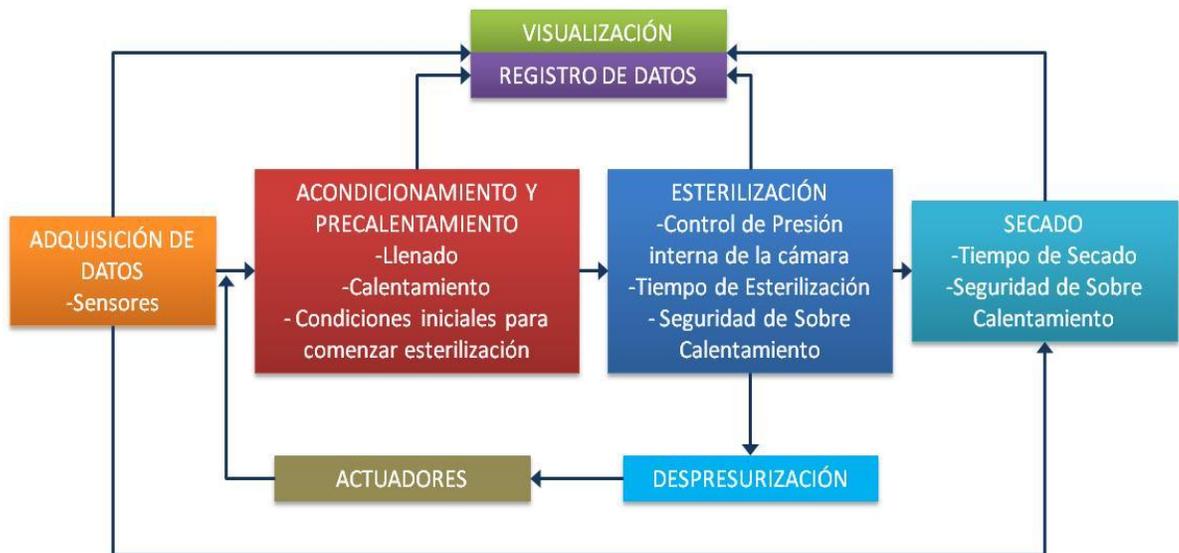


Figura 33. Diagrama de funcionamiento de un autoclave Fuente: Autor

### 5.2.1 Adquisición de Datos



Figura 34. Fase de Adquisición de datos Fuente: Autor

En los autoclaves la medición de variables se lleva a cabo para conocer valores de presión y temperatura, en los autoclaves esto se hace mediante termostatos y manómetros en el autoclave digital esto se lleva a cabo mediante sensores. Además de los datos básicos para la esterilización es de vital importancia adquirir información sobre otros factores como el nivel de agua dentro de la recámara, señal de que la puerta de la cámara esté cerrada. Los sensores que deben ser utilizados son:

- Sensor de presión
- Sensor de Temperatura de sobre calentamiento de la tarjeta de control
- Sensor de nivel
- Sensor de puerta cerrada

### 5.2.2 Acondicionamiento y Pre calentamiento

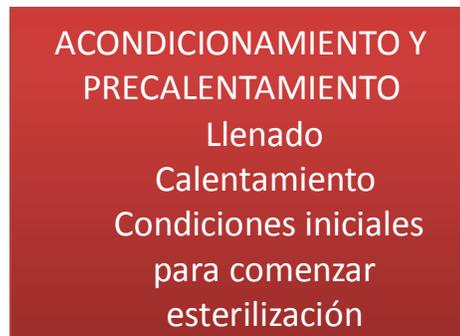


Figura 35. Fase de Acondicionamiento de datos. Fuente: Autor

Al comienzo de la etapa se garantiza que el equipo tenga la cantidad de agua necesaria para su funcionamiento (Figura 35) , si el equipo no cumple con éste primer paso, el resto del acondicionamiento y por lo tanto el resto del proceso no será llevado a cabo.

En esta etapa el autoclave ya sea analógico o digital debe tomar las condiciones necesarias para llevar a cabo su proceso de esterilización desde 121 grados centígrados a 18 psi hasta 134 grados centígrados a 28 psi de acuerdo al ciclo que se escoja y el material que se quiera esterilizar.

La mayoría de autoclaves usan termostatos para llegar a la temperatura ideal y muestran la presión a la que se llega con un manómetro.

En esta etapa se deja escapar el aire residual en la cámara con el fin de tener únicamente vapor saturado (Figura 36); esto se hace mediante varias despresurizaciones antes de llegar a la presión requerida.

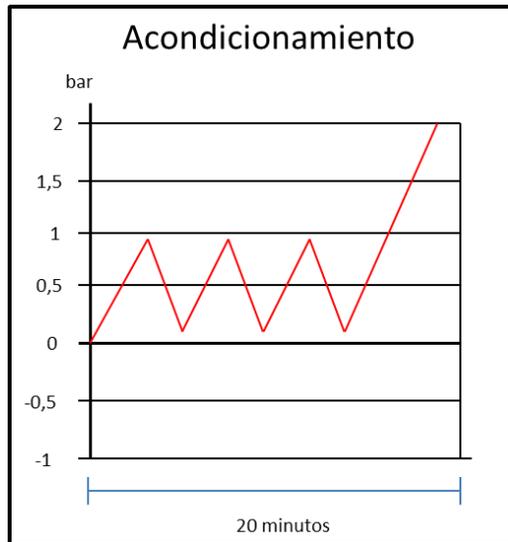


Figura 36. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de acondicionamiento del equipo Fuente: Autor

### 5.2.3 Esterilización

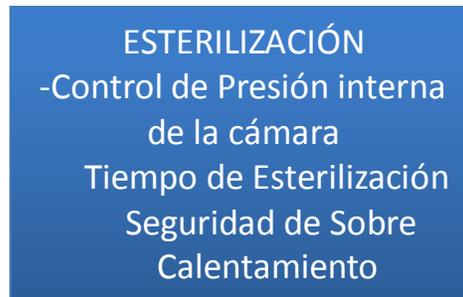


Figura 37. Fase de esterilización del equipo Fuente: Autor

Una vez el autoclave ha llegado a su temperatura y presión adecuadas, comienza el proceso de esterilización que debe durar de acuerdo al autoclave de 15 a 35 minutos (Figura 37). En esta etapa el autoclave debe conservar sus condiciones obtenidas durante el acondicionamiento durante todo el tiempo escogido (Figura 38) para ello se debe usar un método de control de la variable requerida.

En los autoclaves analógicos se utiliza un TIMER que cuenta el tiempo que dura la esterilización y deja de pasar corriente una vez haya terminado el proceso.

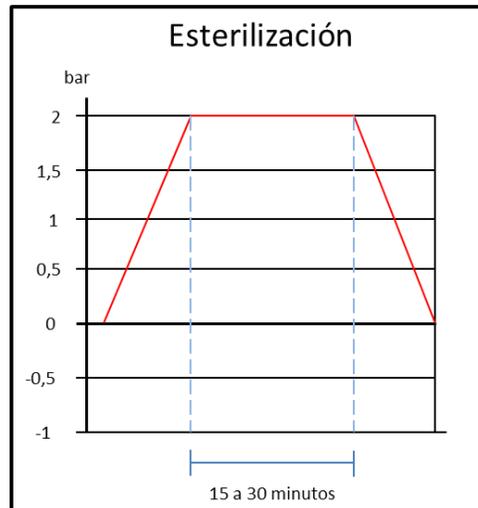


Figura 38. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de esterilización del equipo Fuente: Autor

#### 5.2.4 Despresurización

En esta etapa el equipo debe simplemente evacuar toda la presión obtenida durante el proceso (Figura 39), esto se hace mediante la apertura de una válvula, se usan ya sea válvulas que se abran de forma manual o válvulas solenoides.

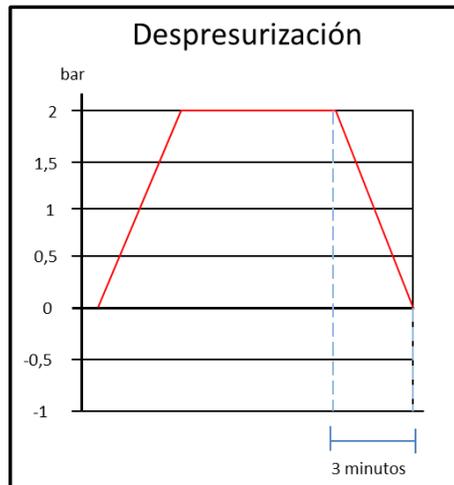


Figura 39. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de despresurización del equipo Fuente: Autor

### 5.2.5 Secado



Figura 40. Fase de secado del equipo Fuente: Autor

En el secado el autoclave debe obtener calor de forma que comience a secar la humedad que quede tanto en la cámara como en el instrumental que se quiera esterilizar. Los autoclaves requieren que su puerta principal sea abierta para que la entrada de aire haga posible el proceso es decir que dentro de la cámara no se generará presión (Figura 41). Aquí se vuelve activar el TIMER para contar el tiempo al que el autoclave sea sometido a calor sin presión (Figura 40).

Para evitar que el autoclave siga en funcionamiento después de llegar a temperaturas extremas, un sensor de temperatura proporciona la información necesaria que detendrá el proceso en caso de que esto suceda.

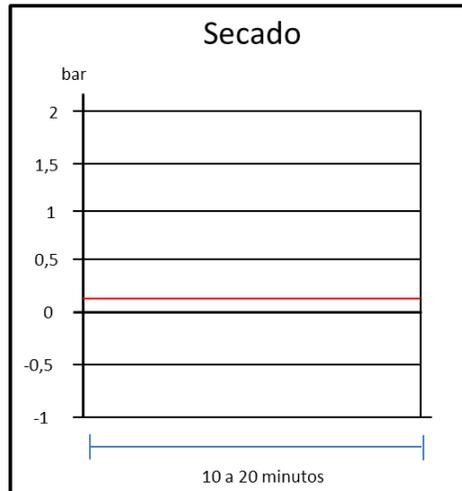


Figura 41. Gráfica del comportamiento de la presión en el proceso de secado del equipo Fuente: Autor

Cada proceso debe ser registrado, en odontología es preciso que se registre el lote y el tipo de instrumental que se está esterilizando. Esto se lleva en bases de datos internas que se manejen en cada estación de esterilización. Sin embargo es útil que el equipo de esterilización aporte información que haga constar la cantidad de esterilizaciones y si los ciclos fueron realizados correctamente.

## **5.3 Sensores**

El Autoclave Digital que se diseñará requiere cuatro tipos de sensores para cuatro procesos diferentes los cuales son:

- Control de la Presión de trabajo del autoclave
- Monitoreo de temperatura de seguridad de la parte electrónica
- Monitoreo de Puerta de Esterilización Cerrada
- Monitoreo de nivel de agua dentro de la cámara de esterilización

### **5.3.1 Sensor Para el control de Presión de Trabajo del autoclave**

Para llevar a cabo la selección del sensor se tuvieron en cuenta dos tipos los cuales se adaptaban al rango de presión que se iba manejar, sin embargo cada uno poseía características cuya comparación dio como resultado la utilización del sensor MPX5700dp. En la tabla 6 se puede ver una comparación entre las características de los sensores.

Referencia del sensor	Rango de Presión requerido	Temperatura de trabajo	Facilidad de Instalación	Costo
SPTW (FESTO)	✓	O	O	X
MPX5700dp (Motorola)	✓	✓	✓	✓

Tabla 6. Tabla comparativa entre los sensores de presión SPTW y MPX5700dp.

O: Sobre el límite, X: No cumple con los requerimientos, ✓: Cumple con los requerimientos.

Para tomar la medida de la presión del equipo se usa un sensor de presión MPX5700dp (Figura 42) marca Motorola en la carcasa de tipo 867C-05 estilo 1. El sensor posee una sensibilidad de 6.4 mV/kPa, trabaja a presiones de 0 a 700 kPa con salidas de 0 a 4.7 voltios de acuerdo a la sensibilidad mencionada.

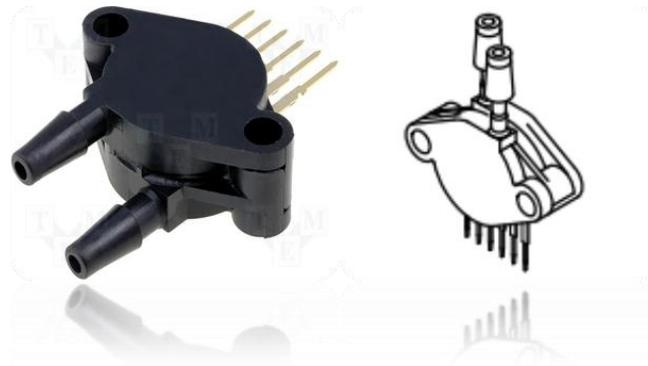


Figura 42. Sensor de Presión MPX5700 Fuente:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

El sensor fue sometido a prueba para garantizar tanto el buen funcionamiento del dispositivo adquirido como la variación de voltaje que se requiere para el proceso en el cual se utilizó.

Para hacer la conexión del sensor y prueba, se conectó el sensor a una protoboard utilizando el diagrama de pines obtenido del datasheet del mismo (Figura 43).

PIN NUMBER			
1	V <sub>out</sub>	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V <sub>S</sub>	6	N/C

Figura 43. Diagrama de pines Fuente:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

El sensor fue alimentado con 5 Voltios DC y su salida fue conectada a un multímetro donde se pudo observar la variación de voltaje dependiendo a la presión obtenida. En la parte de conexiones de presión del sensor, se conectó una manguera en el pin de entrada para aplicar presión mediante un compresor que suministra presión y tiene a su vez conectado un manómetro donde se pudo observar la variación de presión y comparar con la presión mostrada por el sensor.

Se tomaron medidas en kilo pascales y en mili voltios de esta manera se compara la presión de salida del sensor. Para generalizar las medidas de presión se aplicaron las siguientes ecuaciones para poder observar los resultados en psi.

$$P_{psi} = \frac{P_{kPa}}{6.89}$$

Donde  $P_{psi}$  es la presión en psi que se obtiene de la medición  $P_{kPa}$  en kilo pascales.

Para poder dar un valor de equivalencia del sensor en kilo pascales de acuerdo al voltaje obtenido, se hicieron los siguientes cálculos de acuerdo a los siguientes parámetros del sensor (Tabla 7):

<b>Voltaje de Salida Mínimo(V)</b>	<b>Voltaje de Salida Máximo (V)</b>	<b>Porcentaje de precisión</b>	<b>Presión mínima (kPa)</b>	<b>Presión máxima (kPa)</b>
0.2	4.7	2.5	0	700

Tabla 7. Rango de salida del sensor en Voltios – Precisión - Presión

En fin de relacionar éstas cantidades se llevó a cabo el siguiente procedimiento dando como resultado la ecuación utilizada tanto para observar el comportamiento del sensor como para mostrar valores en la pantalla LCD como se verá más adelante.

$$4.7 \text{ Voltios} \xrightarrow{\text{Equivale}} 700 \text{ kPa}$$

$$\text{Presión Equivalente kPa} = \left( \frac{\text{Medida de Voltaje} * 700}{4.7} \right) \pm 2.5$$

De acuerdo a los valores medidos en kilo pascales y voltios y los valores obtenidos mediante las ecuaciones mostradas anteriormente, se obtiene la siguiente tabla donde se observa el comportamiento del sensor que al ser

diferencial se encuentra comparando la presión aplicada con la presión del medio (Tabla 8).

Presión Manómetro (psi)	Presión (kPa)	Salida del Sensor (mV)	Presión Equivalente (kPa)
5.66	39	252	40,03
6.2	42.75	278	43,90
6.8	46.88	303	47,63
7.4	51.02	329	51,50
7.9	54.47	355	55,37
8.6	59.29	380	59,10
9	62.05	404	62,67
9.6	66.19	431	66,69
10.2	70.33	457	70,56
10.6	73.08	487	75,03

Tabla 8. Tabla de resultados de prueba de medición del sensor

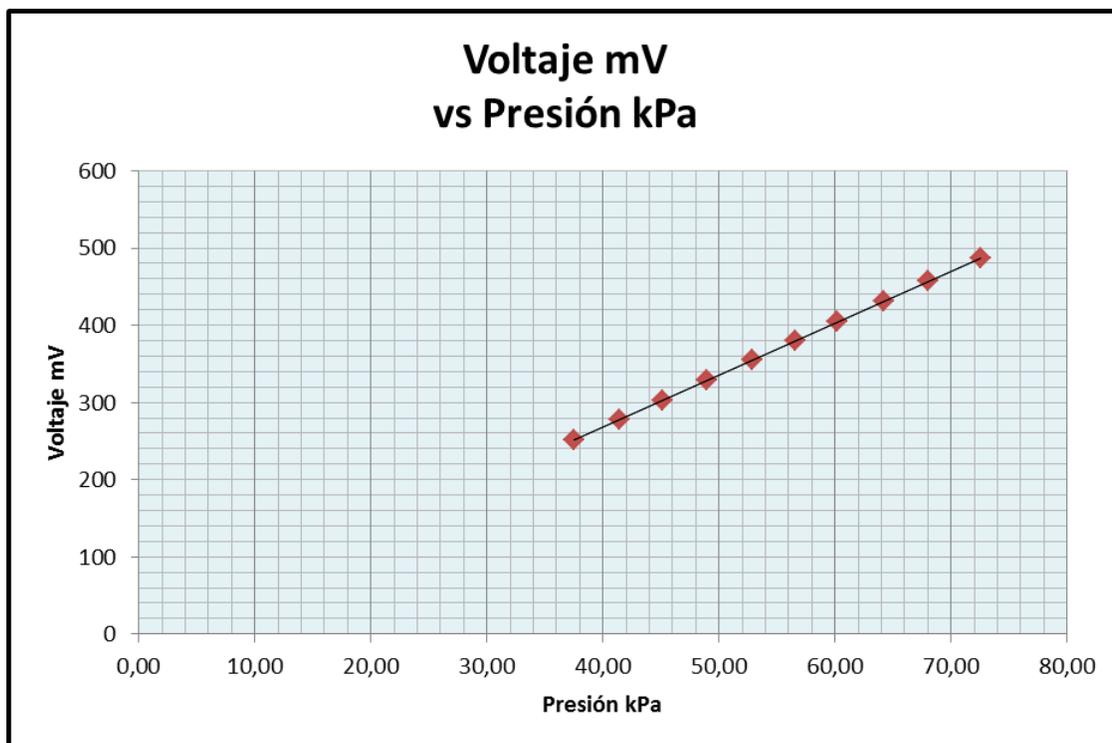


Figura 44. Gráfica del comportamiento lineal del sensor de presión. Fuente: Autor

La gráfica obtenida de la medición de datos sobre el sensor (Figura 44) mostró que el sensor entrega una variación de voltaje de forma lineal y teniendo en cuenta el comportamiento de dicha gráfica se verificó su sensibilidad con la ecuación de la recta de la siguiente manera.

Tomando los dos puntos extremos de la recta:

$$P1 = (37.53,252)$$

$$P2 = (72.53,487)$$

Se obtuvo la pendiente  $m$  de la recta es decir la sensibilidad del sensor.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \text{ }^{23}$$

$$m = \frac{487 - 252}{72.53 - 37.53}$$

$$m = 6.71$$

La pendiente obtenida  $m$  es de 6.71 en contraste con la sensibilidad del circuito que es de 6.4mV/kPa esto sucede debido al grado de precisión de  $\pm 2.5\%$ .

Lo anterior comprobo que el sensor cumple con los requisitos de forma experimental según sus características técnicas. Por consiguiente se procedió a llevar a cabo el diseño del software y se definió el circuito de adecuación.

- Programa para el sensor de presión

La señal de salida del sensor es leída por el conversor análogo digital del microcontrolador configurado a 10 bits. A fin de garantizar que los datos tomados del sensor sean estables y se tenga una medición cierta inherente a señales de ruido y otras interferencias, se hace un promedio de varias mediciones dando como resultado un valor más cercano al valor real. Las partes de código generales para lograr lo dicho anteriormente sin tener en cuenta las directivas del controlador u otras directivas se pueden observar con el siguiente diagrama de flujo (Figura 46):

---

<sup>23</sup> Ecuación de la pendiente de la recta.

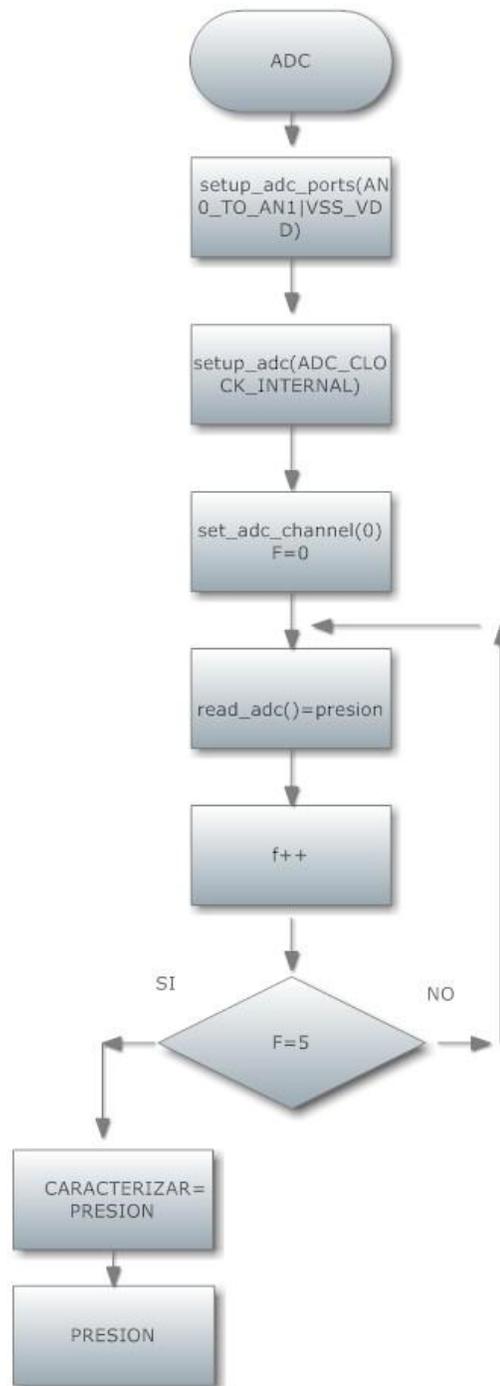


Figura 46. Diagrama de flujo del algoritmo para la recolección de datos del sensor de presión Fuente: Autor

Así mismo para poder mostrar los valores medidos con el sensor en la LCD, fue necesario realizar dentro del programa los cálculos pertinentes a la equivalencia tanto del voltaje de salida como de la presión en psi; se basó en los datos proporcionados en el datasheet para ello. En las siguientes ecuaciones se pueden evidenciar éstos cálculos.

Se debió tomar los datos digitales leídos por el conversor y visualizarlos en voltios de la siguiente manera:

$$Medida Voltaje = \left( \frac{Lconversor * 5}{1023} \right)^{24}$$

Donde *Lconversor* son los datos leídos por el conversor de la salida del sensor. Teniendo éstos datos se procede a llevar a cabo los cálculos para visualizar la presión en psi. La presión debe ser visualizada en psi para facilidad de los usuarios finales quienes acostumbran manejar ciclos en grados centígrados y psi.

Teniendo en cuenta la salida del sensor máxima en voltios y su equivalencia en psi se definió:

$$4.7 \text{ Voltios} \xrightarrow{\text{Equivale}} 101.5 \text{ psi}$$

$$Presión Equivalente psi = \left( \frac{Medida de Voltaje * 101.5}{4.7} \right) \pm 2.5$$

---

<sup>24</sup> Ecuación para ver los datos del conversor análogo digital en unidades de voltaje.

Teniendo el resultado de ésta ecuación se puede visualizar correctamente la presión medida por el conversor. Para ello el lenguaje c permite hacer llevar a cabo directamente las operaciones necesarias que se vieron anteriormente.

Para la conexión del sensor al hardware final se utilizó la configuración básica recomendada por el datasheet del mismo y su diagrama de pines, ver figura 47.

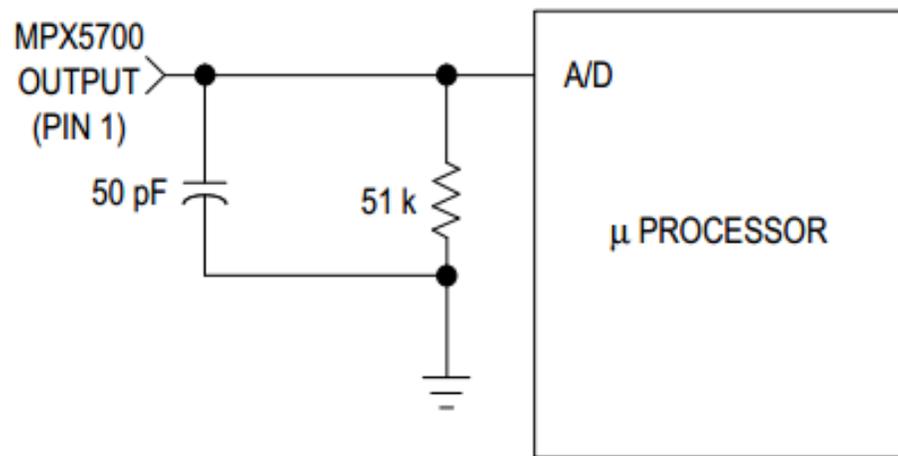


Figura 47. Circuito básico de conexión para el sensor MPX8700 Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX5700.pdf>

### 5.3.2 Sensor para el monitoreo de temperatura de seguridad de la parte electrónica

Con la necesidad de proponer un equipo seguro se estableció un sistema de seguridad que mide la temperatura del circuito del equipo garantizando que éste no se sobre caliente haciendo que su funcionamiento sea deficiente, además de evitar que el papel de la impresora se deteriore. Se tomaron en cuenta tres tipos

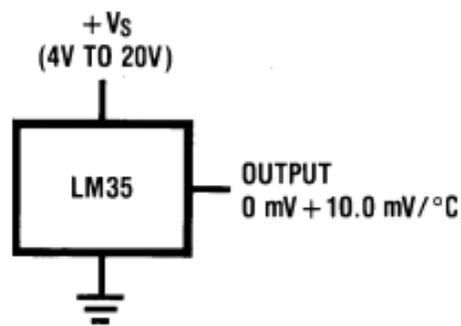
de sensores para llevar a cabo una comparación que mostrara como resultado la mejor opción para la aplicación propuesta (Tabla 9).

Referencia del sensor	Rango de Temperatura requerido	Temperatura de trabajo	Acondicionamiento de señal necesario	Costo
LM35 (National Semiconductor)	✓	✓	No	✓
Termocupla tipo K	✓	✓	Si	O
Termistor NTC	✓	✓	Si	✓

Tabla 9. Tabla comparativa de sensores de temperatura. O: Sobre el límite, X: No cumple con los requerimientos, ✓: Cumple con los requerimientos.

Para garantizar que el circuito no se caliente a sobre temperaturas, se escogió el sensor de temperatura LM35 de la marca National Semiconductor en la carcasa TO-92; se escogió esta carcasa debido a que reduce costos ya que el sensor no se encuentra dentro de la recámara sino que mide la temperatura externa de la cámara que se le transmite al circuito. De forma adicional se tomó éste sensor puesto que su salida tiene una sensibilidad de 10 mV/°C en contraste con el LM335 cuya sensibilidad se da en grados kelvin.

Para probar el funcionamiento del sensor se tomó su configuración básica (Figura 48) en una protoboard alimentado con 5 voltios, se le aplicaron temperaturas y se midió su salida con un multímetro que mostró la variación en mili voltios y su comportamiento. La temperatura aplicada fue medida con un termómetro digital con termocupla (Tabla 10).



DS005516-3

**FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)**

Figura 48. Circuito básico de conexión para el sensor LM35 Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/NationalsemiconductorLM35.pdf>

Medición Termómetro °C	Medición Con Multímetro (V)	Temperatura Equivalente °C
21	0,21	21
31	0,31	31
41	0,41	41
51	0,51	5
61	0,61	61
71	0,71	71
81	0,81	81
91	0,91	91
101	1,01	101
111	1,11	111

Tabla 10. Tabla de resultados de medición y prueba de linealidad del sensor LM35

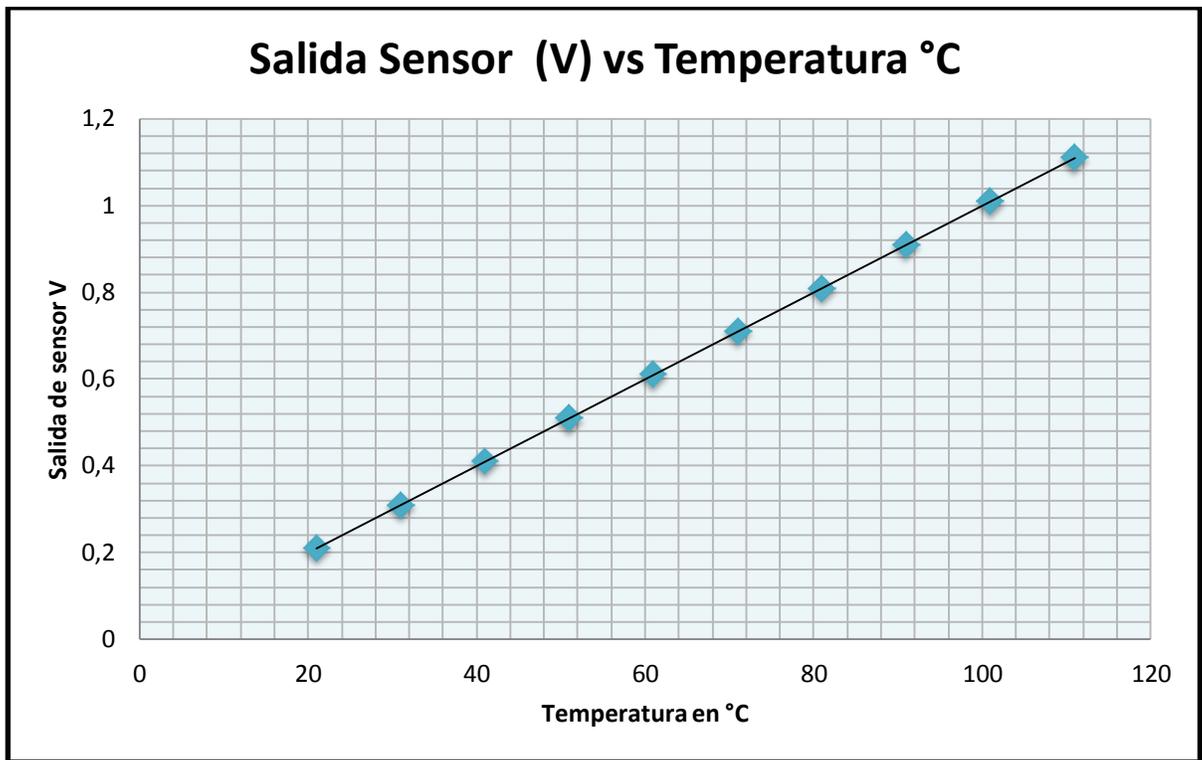


Figura 49. Gráfica de la respuesta del sensor a las mediciones de prueba

La gráfica (Figura 49) muestra la linealidad del sensor y su comportamiento con la variación de temperatura. Se verificó la sensibilidad del sensor hallando la pendiente de la recta de la siguiente manera:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$m = \frac{1.11 - 0.21}{111 - 21}$$

$$m = 0.01$$

El cálculo de la pendiente de la recta  $m$  da como resultado 0.01 lo cual coincide tal cual como se habla en el datasheet con la sensibilidad de 10mV.

Una vez probado el sensor, se dispuso a generar el código requerido para la función a realizar. El conversor del microcontrolador configurado a 10 bits toma la señal de salida del sensor, el conversor se lee y éste valor se compara con un valor de temperatura de 80 °C; si el valor leído por el conversor es superior entonces se genera un error por sobre calentamiento y se detiene el ciclo de esterilización que se esté ejecutando.

### 5.3.3 Sensor de Monitoreo de Puerta Cerrada

Para garantizar que la puerta de la cámara de esterilización quede cerrada debidamente apretada con la fuerza necesaria sin que el empaque de la puerta se presione en extremo lo cual fatigaría su material y lo rompería, se decidió usar un micro switch (Figura 50) de contacto por su forma circular es fácil de instalar



Figura 50. Micro – Switch con pulso redondo Fuente:  
[http://www.diytrade.com/china/pd/6613882/MICRO\\_SWITCH.html](http://www.diytrade.com/china/pd/6613882/MICRO_SWITCH.html)

### 5.3.4 Sensor para el Control de nivel de agua dentro de la cámara de esterilización

A fin de garantizar que la cámara de esterilización tenga la cantidad de agua requerida para el aumento de presión y evitar que exista sobre calentamiento dentro de la recámara y el daño físico tanto del autoclave como del instrumental que se esterilice.

Se tomó como referencia un sensor industrial de nivel de agua, a continuación se muestra una tabla (Tabla 11) donde se observan los requerimientos que cumple y no cumple dicho sensor.

<b>Referencia del Sensor</b>	<b>Temperatura de Trabajo</b>	<b>Presión de trabajo</b>	<b>Señal de salida</b>	<b>Costo</b>
1-250 mWC PS1 (ADZ NAGANO)	X	O	✓	X

Tabla 11. Tabla de resultados de requerimientos del sensor de nivel

Debido al elevado costo y la falta de cumplimiento de la mayoría de los requerimientos se estableció que lo mejor era diseñar el sensor con dos conductores separados por un material no conductor que se unieran al contacto con el agua (Figura 51) .

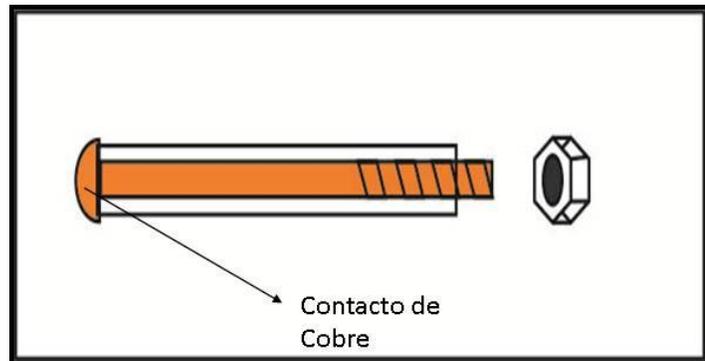


Figura 51. Diseño del sensor de nivel Fuente: Autor

La conexión del sensor de agua diseñado es la siguiente, ésta conexión fue adaptada al hardware general del equipo (Figura 52).

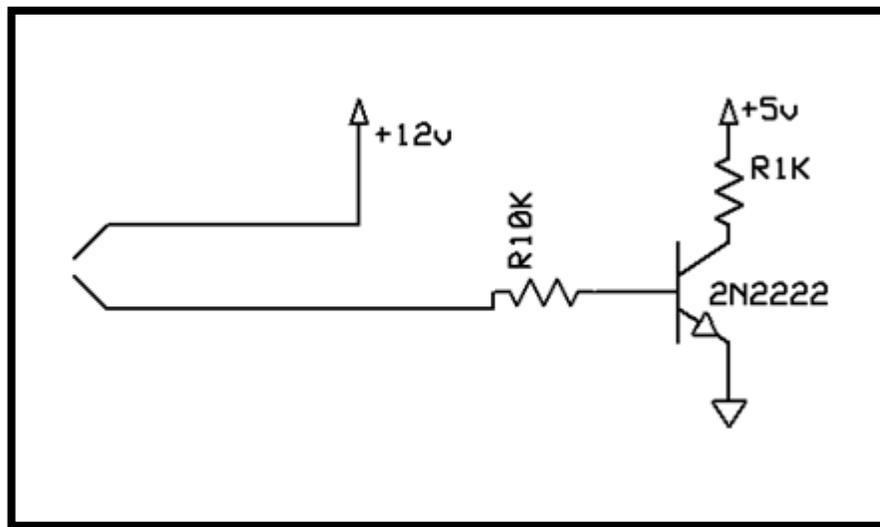


Figura 52. Circuito de conexión del sensor de nivel. Fuente: Autor.

El contacto conectado a la alimentación de 12 voltios correspondió finalmente al tanque de esterilización que fue energizado para completar la segunda mitad del sensor. El transistor 2N2222 fue utilizado como interruptor para llevar una señal alta de 5 voltios al microcontrolador.

En la base del transistor se usó una resistencia de 10 k $\Omega$  a fin de limitar la corriente de base y en el colector se alimenta el transistor con 5 voltios y una resistencia de 1k $\Omega$ . El transistor utilizado un 2N2222 tiene una carcasa tipo TO-92 con una distribución de pines como se ve en la Figura 53.

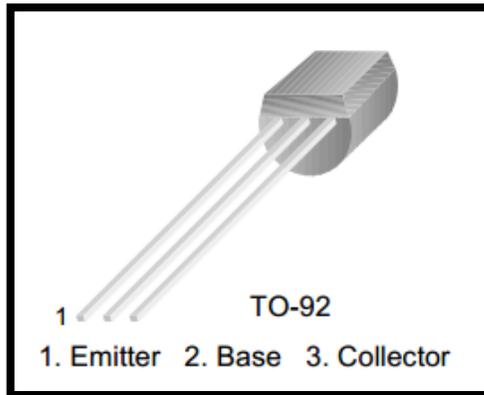


Figura 53. Diagrama de pines del transistor 2n2222 Fuente:  
[http://www.2n2222datasheet.com/pdf/central\\_semiconductor\\_2n2222\\_datasheet.p  
df](http://www.2n2222datasheet.com/pdf/central_semiconductor_2n2222_datasheet.pdf)

## 5.4 Control

El tipo de control seleccionado para el procedimiento de esterilización es un PID que controla la presión dentro de la cámara de esterilización, se decidió utilizar éste tipo de control debido a varias razones. La primera de ellas es su usual utilización en procesos industriales lo que hace que el dispositivo final sea accesible a técnicos prestando de esta manera un servicio de mantenimiento que no requiera de procedimientos complejos. La segunda razón es su capacidad de reparar errores en el sistema tanto estacionarios como transitorios; sin embargo durante el proceso en el cual se requiere una presión y temperatura fijas dentro de la cámara, éstas variables no se verán expuestas a perturbaciones lo cual simplifica el proceso.

Es de vital importancia destacar que para el control de las variables de esterilización del autoclave se decidió controlar la presión por medio de dicho PID, se tomaron mediciones con el sensor de presión MPX5700dp y se controló la presión medida. En cuanto a la temperatura, el sistema se apoya en la Ley de Gay Lussac que señala que en un espacio donde el volumen sea constante la relación entre la presión y la temperatura es constante lo cual indica que para cada presión hay una temperatura equivalente. En ese orden de ideas se puede observar que en la tabla de equivalencias mostrada anteriormente en el documento por ejemplo para una presión de 18.5 psi su equivalente de temperatura es de 121 grados centígrados.

#### 5.4.1 Selección del método de ajuste de las constantes del PID

Partiendo de la teoría en la que un PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)^{25}$$

De acuerdo a ella se observan las siguientes características  $e(t)$  es el error de la señal,  $u(t)$  la entrada de control del proceso a realizar. Y tres constantes importantes para la sintonización del control que son:  $K_p$  que es la ganancia proporcional,  $T_i$  es la constante de tiempo integral y  $T_d$  que es la constante de tiempo derivativa.

Partiendo de lo anterior se escogió un método de sintonización para el PID sin necesidad de modelar la planta; esto se realizó debido a que la planta ya estaba diseñada e implementada por lo cual era preciso que el diseño electrónico se acoplara a ella.

---

<sup>25</sup> GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega, Primera Edición 2008. Pág. 153

Con el fin de observar el comportamiento de la planta, se le aplica un escalón unitario al actuador de la planta por medio de un PWM previamente sincronizado a la red eléctrica; el escalón unitario energiza la resistencia a un 20% del ciclo útil, a partir de esto se tomaron mediciones cada 5 segundos dando como resultado los siguientes valores (Tabla 12):

1,73	4,26	11,5	21,8	29,8	31,67
1,73	4,58	12	22,2	30,1	31,72
1,83	4,89	12,6	22,8	30,2	31,77
1,83	5,11	13,1	23,2	30,3	31,82
1,83	5,42	13,4	24,2	30,4	31,86
1,94	5,74	13,9	24,6	30,5	31,9
1,94	6,06	14,5	25	30,6	31,94
2,04	6,37	14,9	25,4	30,7	31,98
2,04	6,79	15,2	25,8	30,79	32,01
2,26	7,11	15,8	26,2	30,88	32,04
2,26	7,43	16,4	26,6	30,97	32,07
2,47	7,85	17	27	31,06	32,09
2,57	8,06	17,5	27,4	31,14	32,11
2,68	8,43	18,1	27,7	31,22	32,13
2,89	9,3	18,6	28	31,3	32,15
3,1	9,64	19,1	28,3	31,38	32,16
3,31	9,75	19,4	28,6	31,44	32,17
3,52	10,1	20,2	28,9	31,5	32,18
3,73	10,7	20,7	29,2	31,56	32,19
4,05	11	21,2	29,5	31,62	32,2

*Tabla 12. Tabla de resultados de respuesta a escalón unitario en la planta del autoclave*

De acuerdo a los valores muestreados, se obtiene la siguiente gráfica como respuesta al escalón.

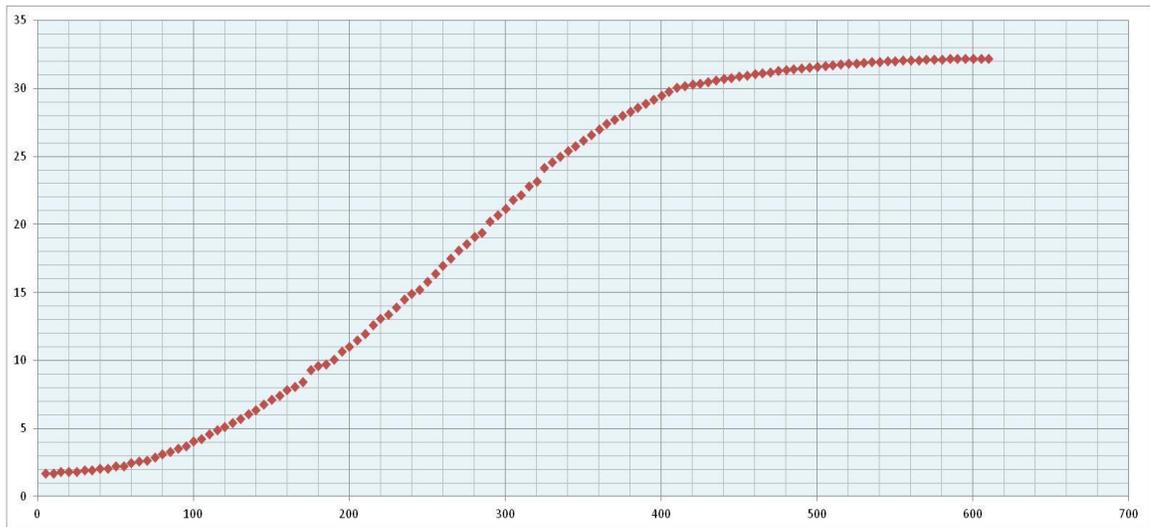


Figura 54. Grafica de la respuesta de la planta al escalón

#### 5.4.2 Método de Ajuste de Ziegler/Nichols tiempo continuo

Este tipo de respuesta (Figura 54) indicó que era posible aplicar el método de Ziegler/Nichols para sintonizar las constantes mencionadas anteriormente. Éste método indica que hay procesos que se pueden definir mediante la siguiente función de transferencia.

$$G(s) = \frac{K_0 * e^{-s\tau_0}}{(1 + s\gamma_0)} \quad 26$$

Para obtener los coeficientes  $K_0$ ,  $\tau_0$  y  $\gamma_0$  se utilizó la gráfica obtenida anteriormente de respuesta al escalón, se partió de la recta de máxima pendiente para hallar los tiempos de respuesta del sistema de la siguiente manera (Figura 55).

---

<sup>26</sup> GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega, Primera Edición 2008. Pág. 156

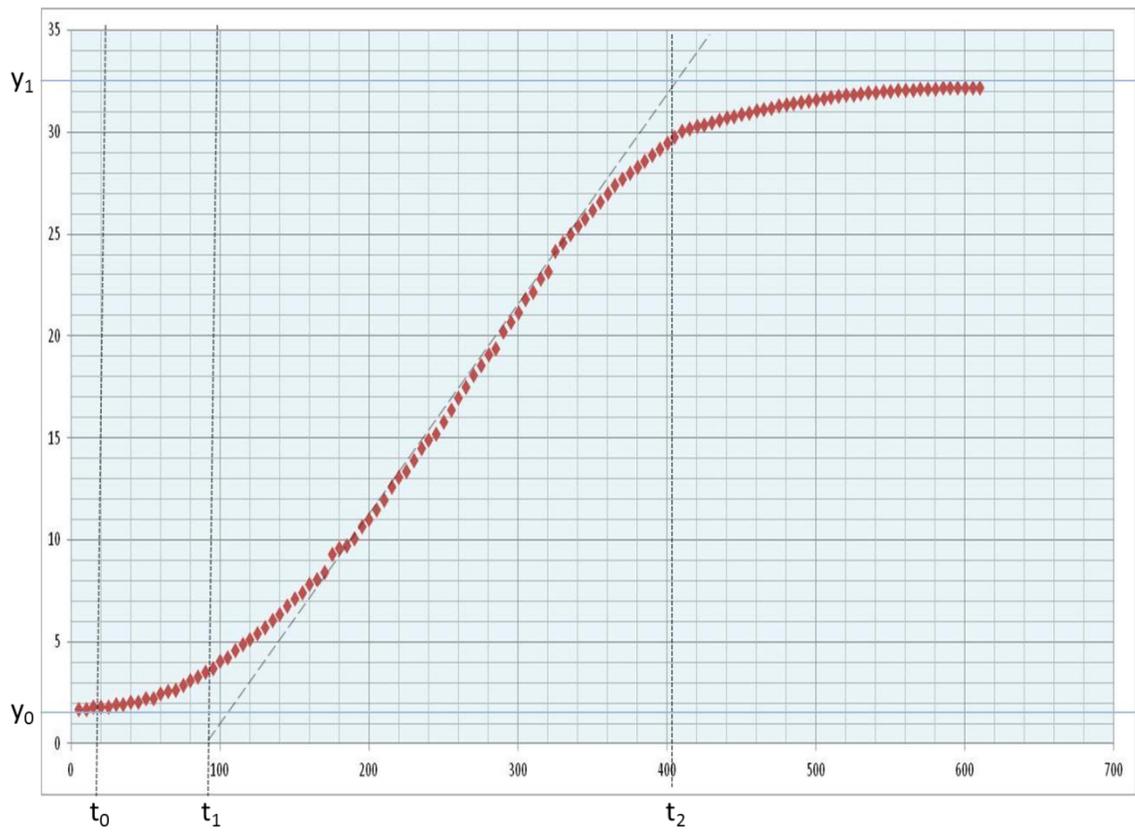


Figura 55. Grafica de la respuesta de la planta al escalón y los valores obtenidos con la recta de máxima pendiente

Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

$$t_0 = 20s$$

$$t_1 = 98s$$

$$t_2 = 401s$$

$$y_1 = 33psi$$

$$y_0 = 1.73psi$$

Con estos datos se determinaron las constantes de la función de transferencia en lazo abierto de Zeiger/Nichols.

$$\tau_0 = t_1 - t_0$$

$$\tau_0 = 98 - 20$$

$$\tau_0 = 78$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1$$

$$\gamma_0 = 401 - 98$$

$$\gamma_0 = 303$$

$$K_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0}$$

Donde  $u_x$  es la función de escalón unitario que se le aplicó al sistema que en este caso fue de un 20% es decir de 2V.

$$K_0 = \frac{33 - 1.73}{2 - 0}$$

$$K_0 = 15.635$$

Teniendo ya las constantes de la función de transferencia del control en lazo abierto, se pudo definir cada una de las constantes de la ecuación general de control así:

$$K_p = \frac{1.2\gamma_0}{K_0 * \tau_0}$$

$$K_p = \frac{1.2 * 303}{15.635 * 78}$$

$$K_p = 0.298$$

$$T_i = 2 * \tau_0$$

$$T_i = 2 * 78 = 156$$

$$T_d = 0.5 * \tau_0$$

$$T_d = 0.5 * 78 = 39$$

### 5.4.3 Método de Ajuste de Ziegler/Nichols tiempo discreto

Las constantes anteriores corresponden a la función del control a tiempo continuo por lo cual se tomó la transformada a z de esta ecuación para hallar las variables correspondientes para tiempo discreto y así poder implementar el controlador de forma digital.

$$U(z) = E(z)K_p \left[ 1 + \frac{T}{T_i(1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right]^{27}$$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1 - z^{-1}} + c(1 - z^{-1})$$

Al asociar con las constantes del control continuo se obtiene a,b,c que son<sup>28</sup>:

$$a = K_p, b = \frac{K_p * T}{T_i}, c = \frac{K_p * T_d}{T}$$

$$a = 0.298$$

Teniendo en cuenta que en el método de Ziegler/Nichols se toma un valor para  $T$  menor que  $\frac{\tau_0}{4}$ ; a modo de se tomó un valor de 0.1 para el tiempo de muestreo.

$$b = 0.000191$$

$$c = 116.22$$

<sup>27</sup> GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega,Primera Edición 2008.Pág. 162

<sup>28</sup> GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega,Primera Edición 2008.Pág. 163

Una vez se obtuvieron las constantes para el PID se implementó el programa como se ve en el siguiente diagrama de flujo (Figura 56).

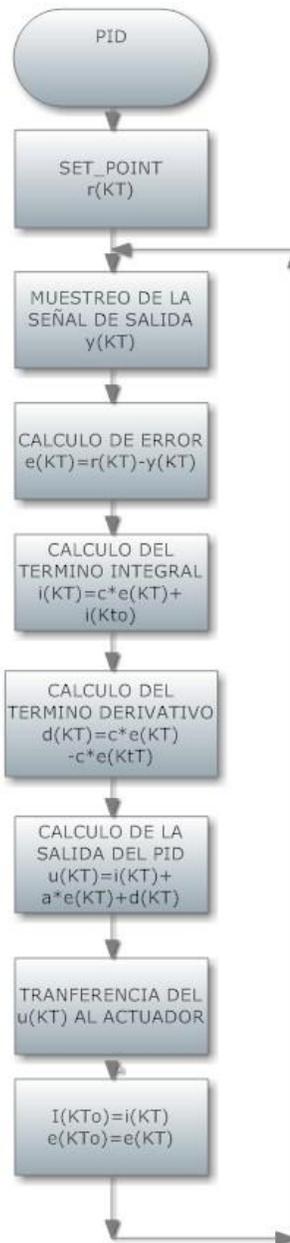


Figura 56. Diagrama de flujo del algoritmo utilizado para la implementación del PID

## 5.5 LCD

Para la visualización de los procesos del autoclave se contemplaron tres opciones en cuanto al display a utilizar; a continuación se observa una tabla comparativa de acuerdo a los propósitos que se querían (Tabla 13).

<b>Referencia</b>	<b>Consumo de energía</b>	<b>Estética</b>	<b>Costo</b>
LCD Alfanumérica	✓	O	✓
Display 7 Segmentos	O	X	✓
LCD Gráfica	✓	✓	X

Tabla 13. Tabla de comparación entre LCD y display 7 segmentos

De acuerdo a la comparación anterior se escogió la LCD gráfica puesto que a pesar que su costo es muy superior a una LCD alfanumérica o un display de 7 segmentos, la LCD gráfica presta un mejor servicio al momento de la parte estética del equipo y los datos mostrados son de mejor calidad.

Se utilizó una LCD gráfica con una resolución de 128x64 pixeles. Ésta LCD posee el controlador comúnmente utilizado de Samsung KS0108 para el cual el compilador CCS proporciona una librería; ésta librería no se usó para el manejo de la LCD pero si se tomó como base y ejemplo para generar una nueva librería que fuera compatible con el compilador y las aplicaciones del proyecto.

La pantalla LCD se conectó según su diagrama de pines expuesto en el datasheet de la misma (Figura 57).

Pin Configuration		
Pin	Symbol	Description
1	V <sub>SS</sub>	Power Supply ( V <sub>SS</sub> =0)
2	V <sub>DD</sub>	Power Supply ( V <sub>DD</sub> =5V±10%), 5.5V maximum(25°C)
3	V <sub>0</sub>	Operating voltage for LCD(variable)
4	D/I	H:Data L:Instruction Code
5	R/W	Read / Write
6	E	Enable trigger
7..14	DB0..DB7	Data bus
15	CS1	Chip Select 1
16	CS2	Chip Select 2
17	$\overline{\text{RESET}}$	Controller reset
18	VEE	Supply voltage for LCD Drive (V <sub>DD</sub> -V <sub>EE</sub> =15V Maximum)
19	LED_A	Backlight anode
20	LED_K	Backlight cathode

Figura 57. Diagrama de pines de la LCD Fuente:  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78331/POWER TIP/PG12864-Q.html>

Luego de conectar la LCD un la protoboard según el diagrama de pines y posteriormente al microcontrolador 18F4550 del cual se hablará más adelante, se corre el siguiente programa sencillo que llena totalmente los pixeles de la pantalla, luego los borra y finalmente grafica un circulo, de éste modo se probó tanto la LCD como la librería que se aplicó a la misma.

A continuación se puede observar las líneas de código utilizado para ésta prueba representadas en el diagrama de flujo (Figura 58).



Figura 58. Diagrama de flujo del algoritmo para la implementación de la LCD

Para simular cada uno de los códigos usados en el proyecto se utilizó una versión de prueba (**DEMO**) del programa Proteus, a continuación se puede observar la simulación para el programa de Prueba de la LCD (Figura 59).

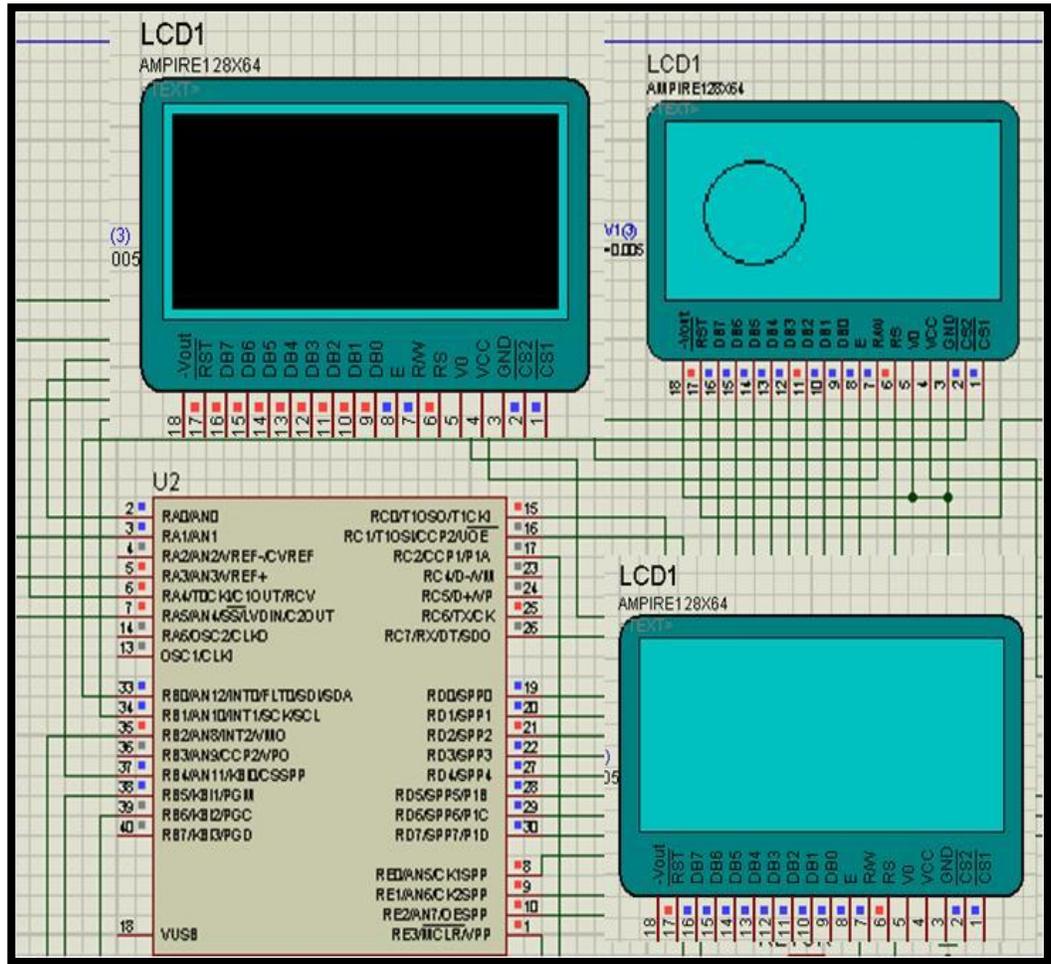


Figura 59. Resultado parcial de la simulación de la LCD en Proteus

Al usar una LCD gráfica se muestran imágenes que ilustran el logo de la empresa y otros pantallazos donde se mostró el logo perteneciente a cada ciclo. Para lograr graficar las imágenes sin necesidad de enviar a la LCD un código pixel a pixel se generaron arreglos de datos los cuales se leyeron mediante un ciclo que

recorriera cada posición de los mismos y fuera activando los pixeles necesarios para cada imagen. Para generar los arreglos se utilizaron los programas gratuitos ImageLCD y FastLCD con ellos fue posible el diseño de las imágenes con su posición dentro de la LCD y su conversión a un arreglo con una resolución de 128x64.

Con el Programa FastLCD se diseñaron las imágenes que se pusieron en la LCD, éste programa permitió acomodar manualmente los diseños a la ubicación requerida. La siguiente imagen muestra uno de los pantallazos utilizados en el autoclave (Figura 60).

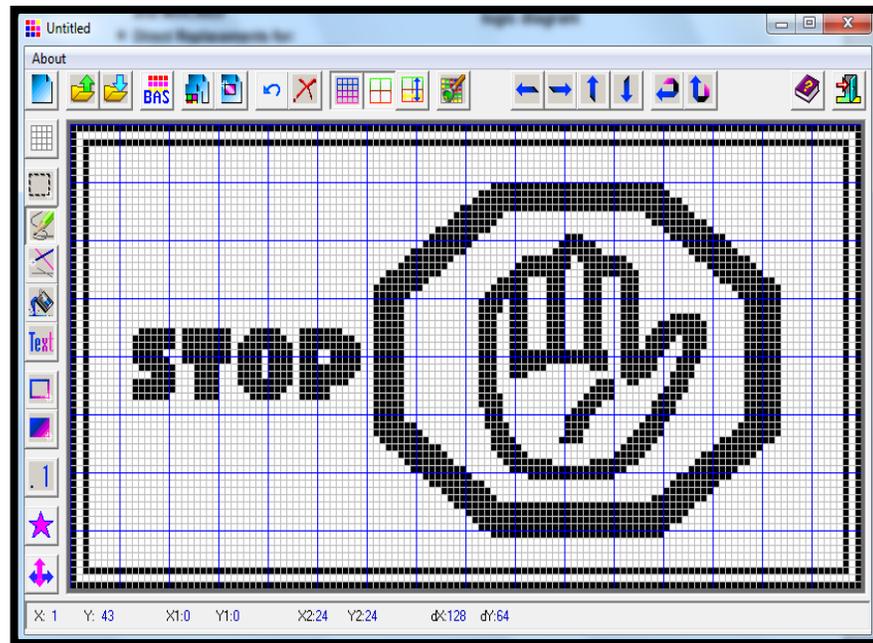


Figura 60. Pantallazo de la imagen de STOP diseñada en FastLCD

El programa FastLCD permite guardar una imagen con la extensión .BMP que luego fue pasa al programa ImageLCD donde se genera un arreglo de datos para

cada pixel de la imagen con la resolución de la LCD utilizada (Figura 61); en la siguiente imagen se puede observar un pantallazo de dicho programa.

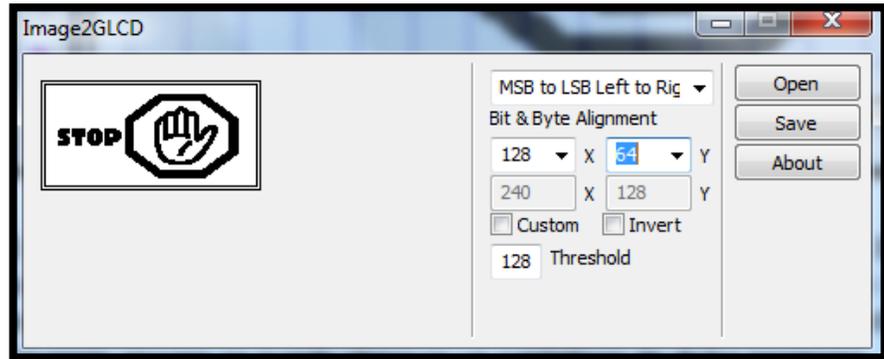


Figura 61. Pantallazo de la generación de código de la imagen de STOP en ImageLCD

Este programa da como resultado un arreglo de 1024 posiciones; que dan la resolución de la imagen en la LCD. Luego de esto se llamó el arreglo y se leyó una a una sus posiciones dando las coordenadas a la LCD para llevar a cabo la gráfica de la imagen.

## 5.6 Registro de datos

Como se vio anteriormente, es importante que el autoclave registre o brinde información sobre los procesos realizados, el número de esterilizaciones y si se terminó de forma correcta cada ciclo. Para esto se estudiaron dos dispositivos con los cuales es posible llevar a cabo el proceso (Tabla 14).

Referencia	Manipulación de datos por el usuario	Tiempo de Obtención del Registro	Utilización de Dispositivos externos (computador)	Costo
Memoria SD	Si	Posterior al Ciclo	Si	Bajo
Impresora Térmica	No	Inmediato	No	Alto

Tabla 14. Tabla de comparación para el dispositivo de registro de datos

Se utilizó la impresora térmica EPM 203 de APS (Advanced Printing System) (Figura 62) debido que a pesar que su costo es superior a una memoria SD de cualquier capacidad los datos guardados en dicha memoria una vez visualizados en un computador serían fácilmente modificables incluso aunque se encriptara el documento de registro.



Figura 62. Impresora EPM-203 Fuente: [http://www.telpar.com/files/products/printer/APS\\_EPM203\\_Datasheet.pdf](http://www.telpar.com/files/products/printer/APS_EPM203_Datasheet.pdf)

Ésta impresora utiliza comunicación serial con la cual se ha utilizado su conector TTL para la comunicación directa con el microcontrolador. Es preciso alimentar la impresora con una fuente individual puesto que al ser térmica, su cabezote requiere de 0.8 a 5 amperios según sus referencias técnicas. En ese caso sus

características internas fueron modificadas para aumentar su velocidad en cambio de disminuir la intensidad de la impresión por consiguiente el cabezote requerirá menos corriente para su calentamiento.

Teniendo el dispositivo con el cual se registrarían los datos, se procedió a realizar el software con el cual se llevaría a cabo este proceso mediante la impresión de datos para una base de datos física en el consultorio donde se tenga el autoclave.

Como primer paso se generó una línea de código en el compilador CCS y por supuesto con el lenguaje de programación C++ para sincronizar la velocidad de trasmisión del microcontrolador y la de recepción de la impresora.

Se programó el microcontrolador con una velocidad de transferencia de 9600 baudios y se seleccionó el pin con el cual se transmitirían los datos.

Una vez hecho esto, se envía un código para los ajustes requeridos de impresión los cuales serán enviados y a su vez recibidos por la impresora que los tomará antes de tomar los datos que ésta imprimirá.

El código para las directivas de ajuste se escribieron con la función `PUTC()` y el código para el envío de datos de impresión se escribieron con la función `PRINTF()`, en ésta función se usaron caracteres no imprimibles como por ejemplo “\n” que denota un cambio de línea.

## 5.7 Ajustes para la planta física

La planta física del equipo consta de varias partes que se tenían previamente sobre las que hubo que hacer algunos ajustes para la integración del hardware y la medición de variables. Es por esta razón que fue indispensable tener cada una de las partes sin ensamblar para llevar a cabo los acondicionamientos necesarios.

- Acondicionamientos para cámara de esterilización

La cámara de esterilización consta de un tanque de acero inoxidable 304 que posee buenas características al momento de aplicarle presión y temperatura; adicionalmente el acero es de calibre 16 lo cual aumenta el soporte de presión del tanque.

Como ya se ha mencionado el tanque se tenía previamente y fue necesario llevar a cabo algunas perforaciones para acondicionar los sensores de agua y presión. A continuación se puede observar los sitios donde se hicieron perforaciones adicionales a las que tenía el tanque (perforación para llenado y retorno de agua y presión).

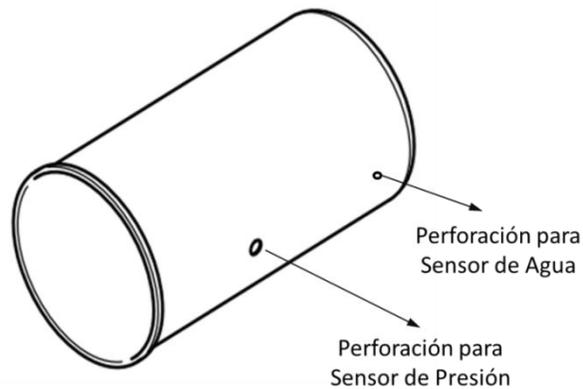


Figura 63. Perforaciones en cámara de esterilización

- Tanque de reserva de agua

El tanque de reserva debe albergar agua constantemente por lo cual es de igual manera de acero inoxidable 304; sin embargo al ser una pieza que no tiene tanta fatiga como el tanque de esterilización su calibre es 20.

Como se puede ver en la imagen el tanque cuenta con una cubierta de igualmente acero inoxidable 304 con un orificio superior que permite la alimentación de agua destilada para la reserva. Para cubrir dicho agujero y evitar escapes de vapor, agua o acceso a partículas indeseadas se dispone una tapa de silicona resistente al calor.

El tanque de reserva no necesita de ninguna modificación; sin embargo esta parte se ensambla después del tanque de esterilización por esta razón debió retirarse del equipo y ser ensamblado de nuevo posteriormente.

- Resistencia de esterilización (Actuador)

El equipo cuenta con resistencias que en forma de abrazadera que se ajustan alrededor de la cámara de esterilización transfiriendo calor uniforme a la cámara (Figura 64). Éste tipo de resistencia evita realizar perforaciones adicionales al tanque lo cual elimina posibles fugas de presión del mismo. Las 3 resistencias utilizadas para este tipo de autoclaves tienen un valor de 30 Ohm con una potencia de 350 vatios cada una. Fueron instaladas luego de terminar las perforaciones del tanque.

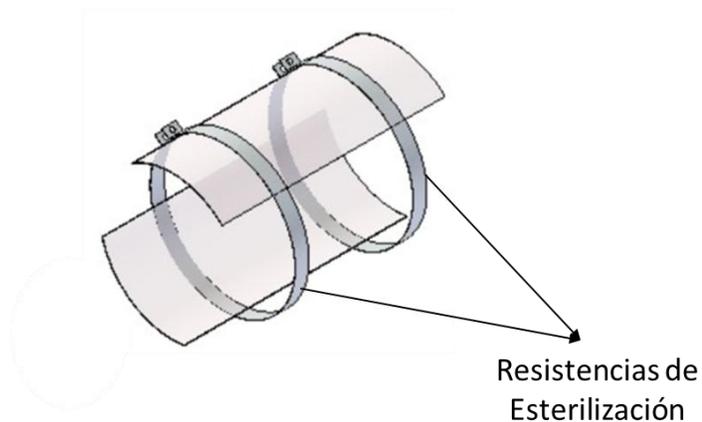


Figura 64. Resistencias de Esterilización

- Resistencias de Secado

Para llevar a cabo el proceso de secado se utilizan resistencias que en conjunto con las resistencias de esterilización aplican calor a la cámara para el ciclo de secado del instrumental y la cámara.

Para el secado del instrumental se requiere proporcionar calor uniformemente dentro del tanque (Figura 65), sin embargo la cantidad de calor suministrado debe ser más baja en comparación con el calor suministrado durante la esterilización es por esta razón que se emplea una conexión en serie entre las resistencias que da como resultado un aumento en el valor de ellas disminuyendo así la potencia aplicada.

Las dos resistencias de secado extras que se instalan son de 10 ohm dando como resultado final un circuito con una resistencia de 32 ohm.

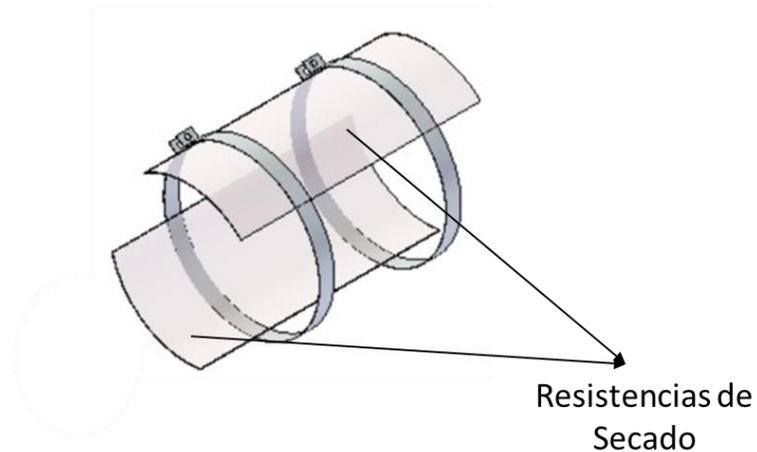


Figura 65. Resistencias de Secado

- Mueble del equipo

Toda la parte interna del autoclave está protegida por un mueble de lamina al cual se le realizaron adecuaciones mínimas para la instalación del sensor de puerta cerrada, el panel digital que alberga el circuito general y la caja de Faraday que blindada el circuito. Debido a los componentes que se mencionaron, ésta parte del equipo debió ser modificada adicionando algunas perforaciones (Figura 66).

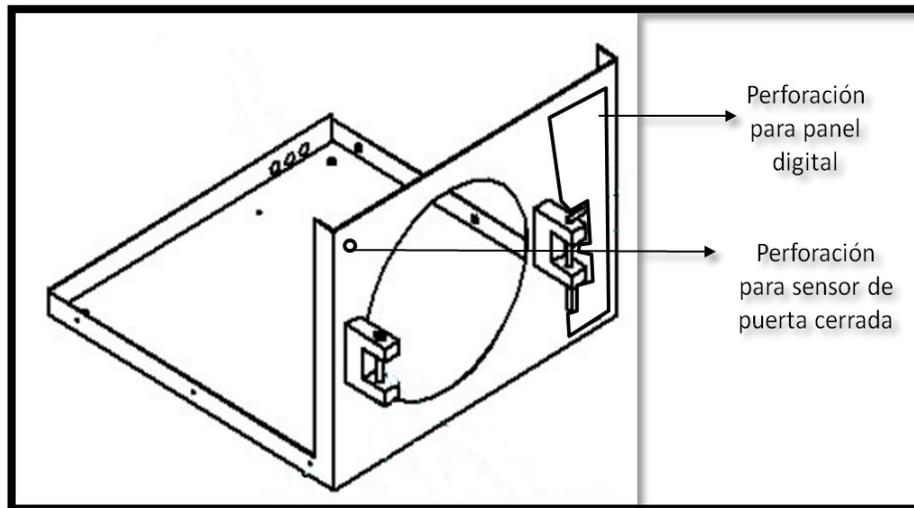


Figura 66. Perforaciones en el mueble del autoclave

## 5.8 Circuito Impreso

Para el diseño del circuito impreso se utilizó el programa de diseño y simulación Proteus.

A continuación se puede observar el circuito esquemático hecho en la herramienta ISIS de Proteus de la parte de control, visualización e impresión (Figura 67).

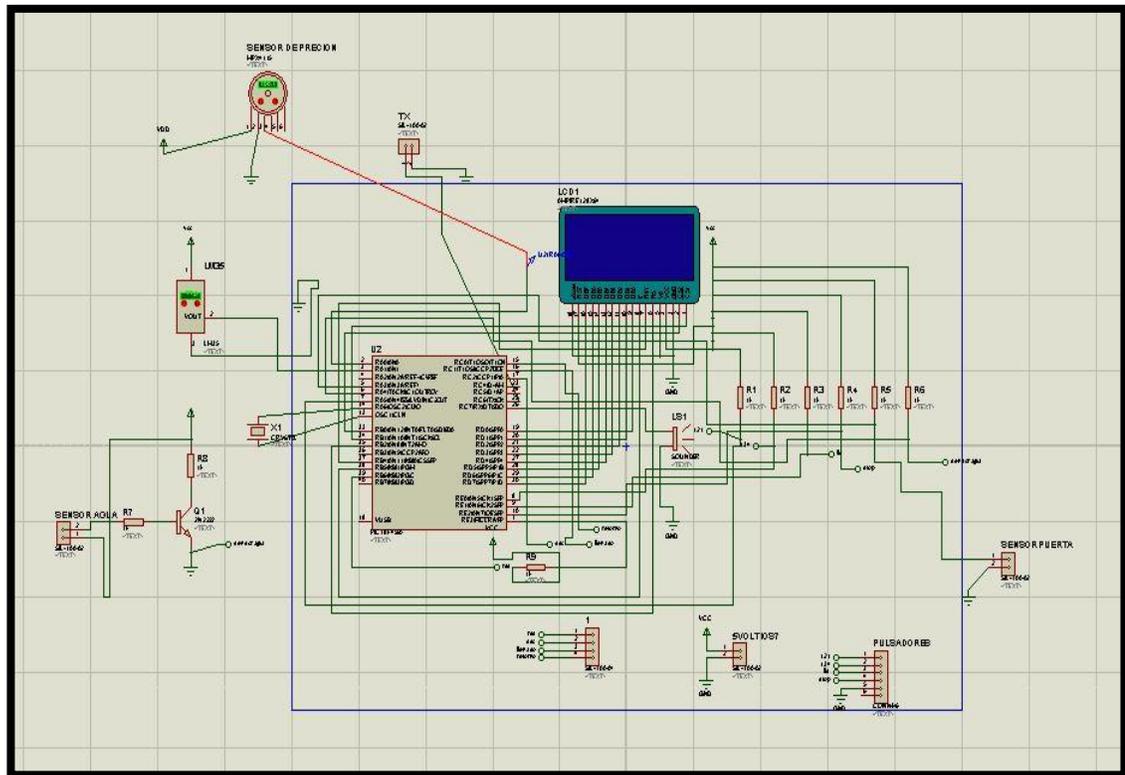


Figura 67. Circuito esquemático del equipo

Una vez simulado el circuito con el esquemático se procedió a usar la herramienta ARES de Proteus para establecer las pistas del PCB Ver anexo E.

Luego de tener el circuito impreso, se probó con la aplicación en 3D con el fin de observar los espacios que ocuparían los componentes dentro de la tarjeta hecha ver anexo F.

### 5.8.1 Etapa de Alimentación y Potencia

Para el diseño de ésta etapa se debieron tener en cuenta los componentes seleccionados para cada etapa pues dependiendo de sus características técnicas de consumo se diseñaría la fuente de alimentación. A continuación se observará el consumo de cada componente principal y se obtendrá un dato de consumo final el cual fue aplicado para el diseño de la fuente (Tabla 17).

<b>Dispositivo</b>	<b>Corriente de Consumo (mA)</b>	<b>Voltaje de Alimentación (V)</b>
MPX5700 dp	7	5
LM35	0,158	5
LCD QY12864	480	5
Pic16F4550	25	5
EPM-203	800	12
MOC3021	60	5

Tabla 15. Tabla de consumo de corriente de elementos principales de circuito

De acuerdo a ésta tabla de componentes principales se estimó para los demás componentes secundarios del circuito (componentes pasivos) un consumo de corriente de 100 mA lo cual da como resultado un consumo general de 1400 mA. Partiendo de esto se diseñó una fuente de alimentación con salidas de 12 V y 5V a 1.5 A.

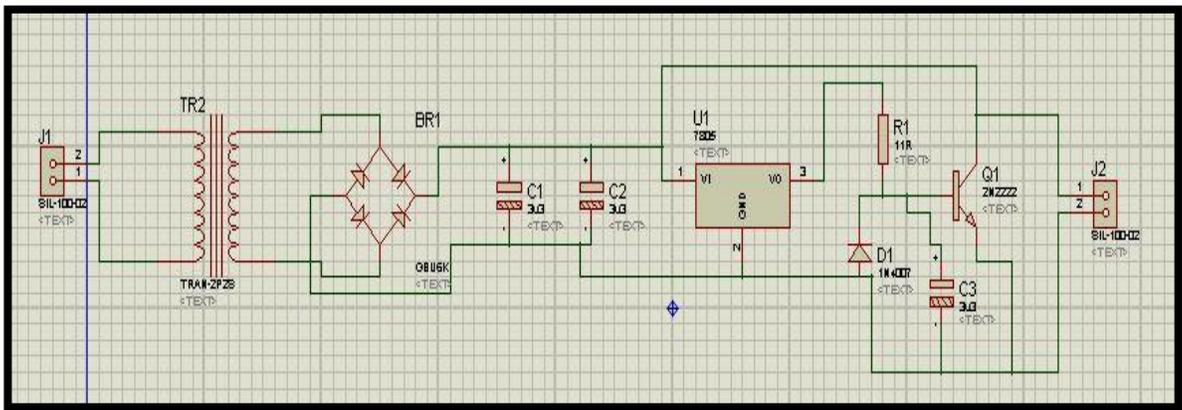


Figura 68. Circuito esquemático de la fuente de voltaje

Luego de hacer el diseño esquemático en la herramienta ISIS de Proteus (Figura 68), se procedió a usar la herramienta ARES para diseñar el PCB ver Anexo G.

## 5.9 Selección del dispositivo controlador

Los parámetros de selección del microcontrolador se basan en el costo del mismo, la funcionalidad, su capacidad de memoria, su velocidad y el conocimiento sobre el compilador que se use para su programación. En base a ello se realizó una tabla comparativa (Tabla 15).

<b>Referencia</b>	<b>Capacidad de memoria</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Accesibilidad del compilador</b>	<b>Versatilidad</b>	<b>Res. de ADC</b>	<b>Costo</b>
Simatic s7 300 PLC (Siemens)	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Alto
MC9S08SE8 (Motorola)	Media	Media	Media	Alta	Media	Bajo
Pic18F4550 (Microchip)	Media	Media	Alta	Alta	Media	Bajo

*Tabla 16. Tabla de comparación para el microcontrolador escogido*

El dispositivo escogido fue el Pic18f4550 debido a su velocidad, la resolución del conversor análogo digital, su bajo costo y accesibilidad al compilador. Luego de seleccionar el microcontrolador identificaron sus entradas y salidas utilizadas como se ve en la siguiente tabla (Tabla 16).

<b>ENTRADAS Y SALIDAS REQUERIDAS PARA EL SISTEMA</b>	
DESCRIPCIÓN	TIPO
Botón de selección de ciclo 121	Entrada Pulsador
Botón de selección de ciclo 134	Entrada Pulsador
Botón de selección de ciclo Líquidos	Entrada Pulsador
Sensor de Presión	Entrada Analógica-Digital
Sensor de Agua	Entrada Pulsador
Válvula de llenado	Salida
Válvula de despresurización	Salida
Resistencia de Esterilización	Salida
Resistencia de Secado	Salida
LCD (RST)	Salida
LCD (DB7)	Salida
LCD (DB6)	Salida
LCD(DB5)	Salida
LCD (DB5)	Salida
LCD(DB4)	Salida
LCD(DB3)	Salida
LCD(DB2)	Salida
LCD(DB1)	Salida
LCD(DB0)	Salida
LCD(E)	Salida
LCD(RW)	Salida
LCD(CS2)	Salida
LCD(CS1)	Salida

Tabla 17. Tabla de entradas y salidas del sistema

Para poner en marcha al microcontrolador se comenzó por colocarlo en la protoboard y polarizarlo adecuadamente. La polarización fue con 5V en el pin 11, mientras que el pin 12 se conectó a tierra. Después entre los pines 13 y 14 se conectó el cristal oscilador de 12MHz. De esta manera se asigna el reloj que usará el micro que como se ve tiene una frecuencia de 12MHz. Para la conexión del microcontrolador se tuvo en cuenta el diagrama de pines encontrado en el datasheet; la carcasa utilizada es 40 PIN-PDIP.

Para comprobar el funcionamiento del microcontrolador se programa un pequeño código en CCS donde se observó la intermitencia de cada pin probado con un LED en la protoboard; de esta manera se comprobó que cada pin fuera funcional. Esto se realizó debido a que es posible que los PIC no funcionen correctamente ya sea por una mala conexión o por un mal manejo de los proveedores del micro o defecto de fabricación.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego del acoplamiento de todas las partes del equipo, el producto final es un autoclave completamente automático que ofrece el servicio de registro de datos mediante la impresión de los mismos. Después de probar cada una de las partes del equipo se evidencia que el dispositivo cumple con todos los requerimientos propuestos para su desarrollo.

El algoritmo final para el autoclave digital se muestra a continuación (Figura 69).

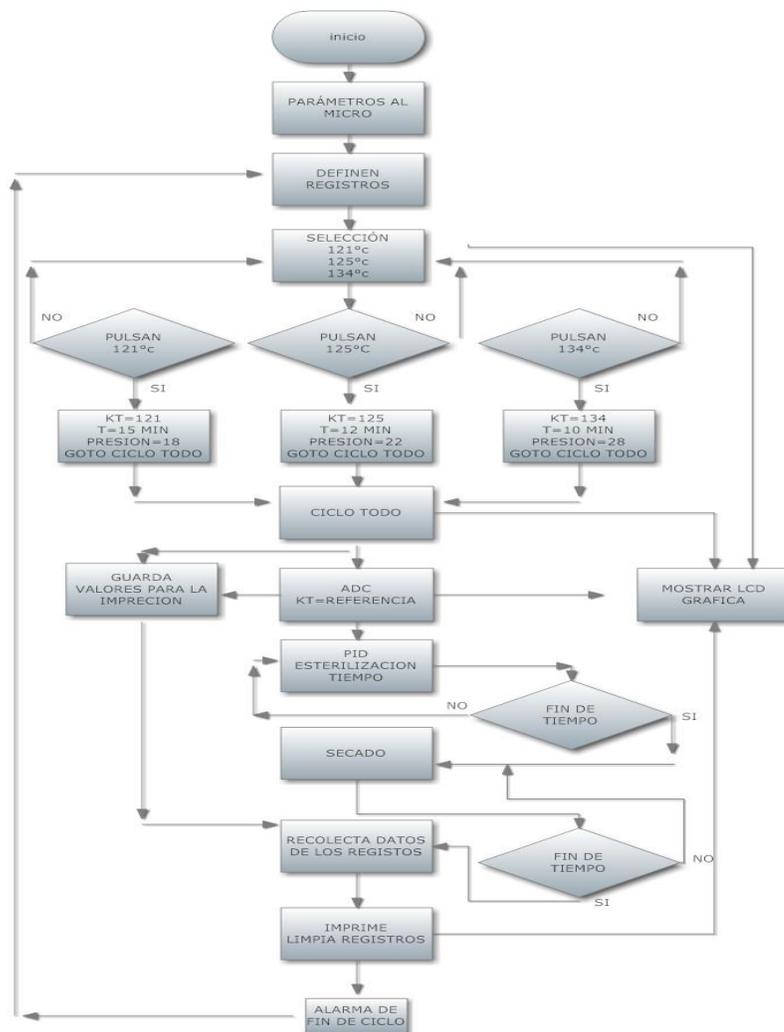


Figura 69. Diagrama de flujo del algoritmo final del equipo

El equipo terminado se puede observar en la siguiente fotografía, completamente ensamblado y en funcionamiento (Figura 70).



Figura 70. Autoclave Digital finalizado

La visualización de los datos en pantalla se llevó a cabo satisfactoriamente, se lograron observar cada uno de los datos requeridos (Figura 71).



Figura 71. Pantallazo final de acondicionamiento de la LCD

Finalmente el registro de datos arroja tres tipos de recibo de acuerdo a los procesos que se hayan llevado a cabo sobre el autoclave, si se terminó el procedimiento de forma satisfactoria o si al contrario se generó un error durante el proceso (Figura 72).



Figura 72. Recibo de Error No. 2 resultante para el registro de datos

Finalmente el dispositivo aprobó favorablemente las pruebas químicas y biológicas a los que son sometidos este tipo de equipos en su utilización en consultorios

odontológicos como se puede observar en las fotografías mostradas a continuación. Las pruebas pertenecientes a la empresa 3M no requieren diagnósticos en laboratorios especializados como ya se vio en el documento. Luego del proceso de esterilización se obtuvo de inmediato el resultado de la prueba química; el resultado de la prueba biológica se obtuvo después de 24 horas de incubación de la misma en una incubadora especializada de 3M.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se diseñó e implementó una tarjeta electrónica que se adaptó correctamente a un autoclave manual existente. Al finalizar la adaptación el autoclave llevó a cabo su proceso de esterilización, desde el llenado hasta el secado y registro de datos con una sola pulsación para la selección del ciclo lo cual reduce el contacto humano con el equipo.
- Mediante la Ley de Gay Lussac y el acondicionamiento interno de la cámara del autoclave se logró establecer una relación precisa entre la presión controlada y la temperatura requerida para el proceso de esterilización.
- El método de sintonización de la curva de Zeigler/Nichols para el control PID ofrece la posibilidad de ajustar el sistema a diferentes necesidades; sin embargo es posible que aumente el tiempo de diseño e implementación del sistema por las mediciones iniciales que se deben realizar.
- El sistema diseñado e implementado se ajusta a la normatividad pertinente como se observa en los resultados de las pruebas de

funcionamiento realizadas. El controlador demuestra un comportamiento válido para el proceso en condiciones normales de funcionamiento. Teniendo en cuenta esto, se espera que el desempeño se mantenga al menos por 3000 ciclos que representan un año de operación.

## 8. RECOMENDACIONES

### Recomendaciones para la tarjeta electrónica del autoclave

- La tarjeta no debe ser conectada a una red diferente de 110 voltios con una frecuencia de 60hz.
- Si se desea retirar el papel de la impresora, éste no debe ser almacenado en sitios húmedos de elevadas temperaturas. De igual forma los recibos obtenidos se deben almacenar teniendo en cuenta ésta recomendación.
- No se debe oprimir los pulsadores fuertemente puesto que estos no necesitan presión excesiva y pueden desajustarse al interior del panel.
- Al instalar la tarjeta no se debe dejar tuberías cercanas al circuito para evitar que posibles fugas del autoclave lo perjudiquen.
- Se debe tener especial cuidado en garantizar que los escapes de vapor no se dirijan para el interior del autoclave para que no se aumente la temperatura alrededor del circuito y por lo tanto la de él mismo.

### Recomendaciones al momento de usar el autoclave

- Se recomienda conectar el equipo a una red de 110 voltios libre de picos de voltaje que puedan deteriorar el sistema.
- Es recomendable utilizar agua destilada con el fin de evitar deterioros en el equipo en cuanto a sus partes mecánicas.
- Se recomienda instalar el equipo en un solo toma corriente para garantizar que no haya un sobre calentamiento de las vías de alimentación por la potencia requerida por el autoclave.

- En caso de que se registre error de vapor saturado por más de tres veces en el plazo de un mes es necesario requerir mantenimiento del equipo puesto que es posible que no esté esterilizando correctamente.
- Si el equipo presenta errores de sobre calentamiento de forma habitual es necesario requerir mantenimiento.
- No se debe aplicar agua más que en el tanque de reserva puesto que es posible que deteriore el circuito eléctrico del equipo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Burkhardt, J. Lecture Notes on the Art of Design. The Indiana University-Purdue University Fort Wayne. 1996
- Compañía Fendental Colombia [en línea]. Sitio web de Fendental [citado 21 octubre de 2009]. Disponible en internet <http://www.fendental.com/Autoclave.html>
- Compañía Gnatus [en línea]. Sitio virtual de Gnatus [citado 21 octubre de 2009]. Disponible en internet <http://gnatus.es/>
- Compañía Olsotek Colombia [en línea]. Sitio virtual de Olsotek [citado 21 octubre de 2009]. Disponible en internet <http://www.olsotek.com/prod.html#dos>
- Compañía Systec [en línea]. Sitio virtual de Systec [citado 21 octubre de 2009]. Disponible en internet [http://www.systec-lab.com/oe\\_uploads/systecdserie0408e.pdf](http://www.systec-lab.com/oe_uploads/systecdserie0408e.pdf)
- Compañía Tuttnaver Israel [en línea]. Sitio virtual de Tuttnaver [citado 21 octubre de 2009]. Disponible en internet [\\_http://www.tuttnauer.com/node/6](http://www.tuttnauer.com/node/6)
- Conceptos de bioseguridad [en línea]. Portal médicos [citado 3 de octubre de 2009]. Disponible en internet [http://www.portalesmedicos.com/diccionario\\_medico/index.php/Bioseguridad](http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Bioseguridad)
- Dr Harrison. Conceptos de bioseguridad [en línea]. Harrison medicina [citado 30 septiembre de 2009]. Disponible en internet <http://www.harrisonmedicina.com/content.aspx?aid=3727469>
- Dr. Hedy Vásquez. Instrumental quirúrgico [en línea]. Vistamedica [citado 25 de septiembre de 2009]. Disponible en internet <http://www.vistamedica.com/main/descargar-documento/25-instrumental-quirurgico-basico.html>
- GARCÍA, Gilberto. Compilador C ccs y simulador Proteus para microcontroladores pic. México: Alfa Omega, Primera Edición 2004. Pág. 153

- Manual de Esterilización para Centros de Salud, Organización Panamericana de la Salud, Silvia I Acosta-Gnass y Valeska de Andrade Stempliuk, Washington, D.C. 2008
- Ministerio de educación argentina. Diccionario de biología [en línea]. Biología [citado 25 de septiembre de 2009]. Disponible en internet <http://www.biologia.edu.ar/microind/esterilizaci%C3%B3n.htm>

## ANEXOS

### Anexo A. Manual de Funcionamiento del Autoclave

#### MANUAL DEL USUARIO

#### AUTOCLAVE



## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. CARACTERISTICAS TECNICAS
3. ADVERTENCIAS GENERALES
  - 3.1 *Normas de trabajo para el operador*
4. UBICACION DE LOS MANDOS
5. ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA
  - 5.1 *Instalación y controles preliminares*
6. NORMA GENERAL DE UTILIZACIÓN
  - 6.1 *Modalidades de funcionamiento*
  - 6.2 *Fin de la sesión de trabajo*
7. ORDEN DE LOS OBJETOS A ESTERILIZAR
  - 7.1 *Esterilización estándar*
8. CICLO DE ESTERILIZACIÓN.
9. ANOMALIAS
10. MANTENIMIENTO
  - 10.1 *Mantenimiento general*
  - 10.2 *Mantenimiento corriente mensual*
  - 10.3 *Mantenimiento extraordinario periódico*

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente manual de instrucciones y mantenimiento es un esterilizador de vapor diseñado específicamente para el proceso de esterilización de la gran mayoría del instrumental y ropa desechable empleados en odontología, ortodoncia, clínicas y en hospitales en general.

El equipo opera a la temperatura de 134° C, con una presión de 2,2 Bar, o bien de 121° C con una presión de 1,5 Bar, controladas y mantenidas constantes por dos dispositivos mecánicos que garantizan una esterilización ideal y una seguridad total. Los ciclos de trabajo pueden controlarse mediante manómetro, luces de señalización y posición de los mandos.



**No utilice el equipo para trabajos diversos a aquellos para los cuales ha sido diseñado.**

**Para evitar interferencias eléctricas en la autoclave es importante cerciorarse que el valor de la resistencia de tierra sea idóneo y resulte compatible con las protecciones de su instalación eléctrica.**

## 2. CARACTERISTICAS TECNICAS

*Equipo de sobre mesa*

*Ciclo de esterilización para ropa e instrumental 20psi = 121°C y 30psi = 132°C*

*Ciclo de secado para instrumental ropa desechable y accesorios*

*Capacidad Cámara: 12*

*Numero de bandejas: 2*

*Tiempo de calentamiento*

*Frió 11mín*

*Caliente 8mín*

*Construcción del mueble en lámina galvanizada cubierta con pintura electrostática Horneable.*

*Cámara, puerta, portabanderas, bandejas, y pinzas acero inoxidable 304*

## Descripción Unidad de medida Valores

	<b>12 LITROS</b>
<b>TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA</b>	110-115 V
<b>FRECUENCIA DE ALIMENTACION Y/O ENERGIA REQUERIDA</b>	60 HZ
<b>POTENCIA MAXIMA</b>	800 W
<b>CICLO DE ESTERILIZACION</b>	121°C 125°C 134°C
<b>PRESION DE FUNCIONAMIENTO</b>	1.5 -2.2 BAR
<b>CAPACIDAD</b>	12 LITROS
<b>PANEL DE MANDOS</b>	DIGITAL
<b>NUMERO DE BANDEJAS</b>	2
<b>AMBIENTE DISTACIA DE LAS PAREDES</b>	20 CM

La instalación eléctrica está protegida del riesgo de sobrecargas de corriente mediante dos fusibles de intervención retardada del valor de 20 A 5x20 (T 20 A) presentes dentro de la máquina.

Es aconsejable que la eventual sustitución de dichos fusibles sea efectuada sólo por un técnico experto.

### **3. ADVERTENCIAS GENERALES**

#### **3.1 Normas de trabajo para el operador**

- Utilice siempre dispositivos de protección individuales según las normas de las disposiciones vigentes de seguridad.
- Evite acercarse al equipo con materiales inflamables.

- Evite efectuar reparaciones u operaciones de mantenimiento durante el funcionamiento de la máquina o cuando el equipo esté enchufado a la toma de corriente o si algunas secciones presentan temperaturas muy elevadas.
- Debemos permitir la utilización del equipo exclusivamente a personas entrenadas.
- Utilice el equipo en lugares secos y protegidos de las precipitaciones atmosféricas.
- Controle periódicamente la condición del cable de alimentación.
- En caso de presencia de diversas personas en el ambiente de trabajo, se recomienda mantener una oportuna distancia del equipo para evitar eventuales contactos involuntarios con puntos de elevada temperatura.
- Nunca arranque el equipo si el cable no está en perfecto estado o si su estructura está dañada.
- Cuando no utilice el equipo, se recomienda mantener la puerta entreabierta.
- No desplazar la máquina con los depósitos de alimentación del agua.



**Preste mucha atención a los puntos del equipo que presentan altas temperaturas tanto durante el funcionamiento como en el período sucesivo al apagado de la máquina.**

**En especial, no acerque la cara a la parte superior del equipo durante la fase de apertura de la puerta ya que se presenta una leve expulsión de vapor. Por tanto es aconsejable abrir la puerta manteniéndose a una distancia aproximadamente de 50 cm.**

**La máquina se enfría completamente transcurridas aproximadamente dos horas a contar desde el apagado del interruptor general.**

#### **4. UBICACION DE LOS MANDOS**

La autoclave posee una elegante estructura cubierta con pintura electroestática.

Los equipos no necesitan atención particular para el funcionamiento. De hecho, es suficiente enchufarlos a la toma de corriente de 110 V. El consumo de la máquina es de 110 V a 115 V



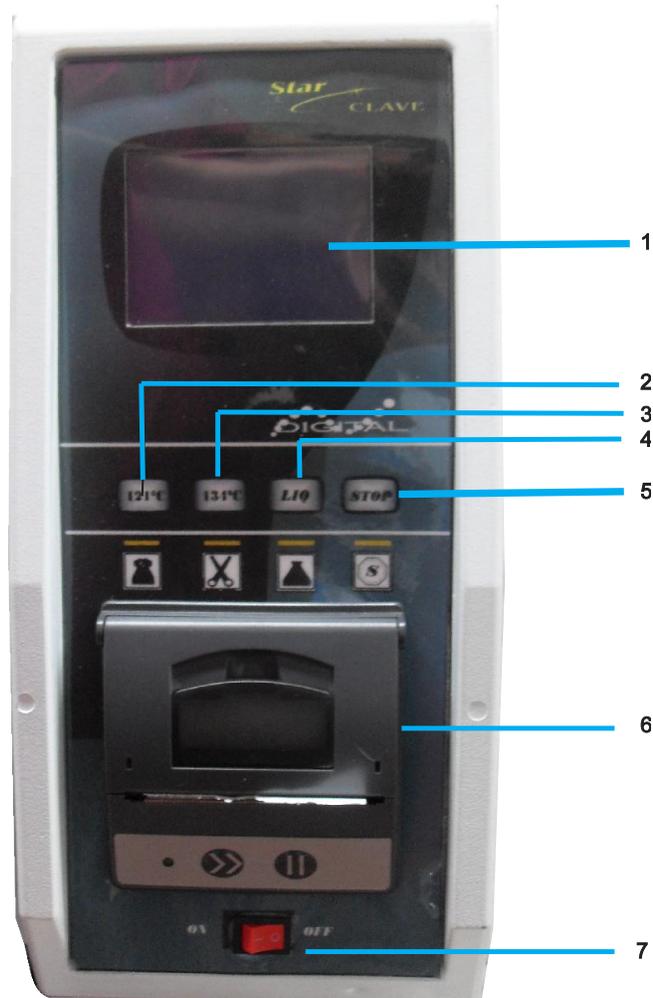
Orificio para tanque de Reserva

Puerta de Cámara de Esterilización

Panel de control para selección de ciclo, Visualización e impresión de Registros.



Posee asimismo un elegante cuadro de mandos, que está compuesto por los siguientes elementos:



- 1 - LCD GRAFICA
- 2 - BOTON 121°C
- 3 - BOTON 134°C
- 4 - BOTON LIQ°C
- 5 - BOTON STOP
- 6 - IMPRESORA
- 7 - ON -OFF

**LOS ACCESORIOS DE SERIE SON:**

1 PORTA-BANDEJAS, 2 BANDEJAS, 1 HERRAMIENTA PARA EXTRACCIÓN BANDEJAS , 1 MANUAL DE INSTRUCCIONES.

## 5. ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA

### 5.1 Instalación y controles preliminares

Instale la autoclave en un lugar bien ventilado y lejos de lavamanos, aparatos que generen calor y cualquier otra máquina que cree vibraciones y/o polvo.

Coloque con prudencia la autoclave sobre una superficie completamente plana, prestando atención que quede un espacio aproximadamente de 5-10 cm. entorno a la máquina para permitir una correcta ventilación.

Recordamos además que no puede ser empotrada ya que la carga del agua en el depósito se verifica por la parte superior.

Enchufe el equipo en una toma de corriente, asegurándose de que la tensión de la red eléctrica corresponda a la indicada en la etiqueta situada en la parte posterior de la máquina (110 Voltios).

**El Autoclave** deberá usarse siempre con **AGUA DESTILADA**, a fin de garantizar una mayor eficacia y duración de los componentes.

Haga un ciclo de puesta en marcha en vacío, utilizando un indicador que confirme la efectiva esterilización.

Conserve la factura que tendrá que adjuntarse al módulo de instalación y enviarse juntos con el certificado de garantía.

### DESCRIPCION PARTE TRASERA



- 1) Tornillos de fijación carcasa.
- 2) porta fusible con fusible de 20 amp.
- 3) plaqueta con los siguientes datos:  
No de serie  
Capacidad  
Modelo  
Voltaje  
Potencia  
Datos del fabricante.
- 5) Cable de alimentación con enchufe.

## **6. NORMA GENERAL DE UTILIZACIÓN**

### **6.1 Modalidades de funcionamiento**

1. Llene el tanque de reserva hasta alcanzar la base de la válvula de seguridad.
2. Conecte el autoclave a la red 110 y/o 220 voltios. Según el caso.
3. Oprima el botton que desee según el ciclo.
4. Terminado el ciclo, suena una alarma durante 15 segundos indicando que ya finalizo el ciclo

**ADVERTENCIA:** Si pasado 5 minutos después de haber comenzado el ciclo de Esterilización observa que la aguja del medidor de presión no ha comenzado a subir desconecte el autoclave y verifique que haya agua en la cámara de esterilización.

**RECOMENDACIONES:** Utilice agua destilada. No inicie el ciclo sin verificar el nivel de agua en la cámara, no abra la puerta si el manómetro no marca cero (0).

### **6.2 Fin de la sesión de trabajo**



**Al apagar el equipo, hágase atención especialmente a la temperatura de las diferentes componentes.  
La máquina necesita dos horas desde el apagado para enfriarse Completamente.**

## **7. ORDEN DE LOS OBJETOS A ESTERILIZAR**

### **7.1 Esterilización estándar**

Debemos limpiar previamente los objetos a esterilizar y eliminar los residuos de sangre, incrustaciones, objetos extraños, etc. ya que estos elementos pueden dañar los propios materiales a esterilizar así como las componentes de la autoclave y no garantizan una perfecta esterilización. Dichas herramientas tienen que ser de material NO ferroso, ya que podrían dañar las otras herramientas o la autoclave.

Por lo tanto, para conseguir una perfecta esterilización, es importante cumplir con las siguientes indicaciones:

1. Inmediatamente después del uso, lave y cepille las herramientas con agua corriente para eliminar cualquier residuo.
2. Si es posible, pase las herramientas en la máquina de ultrasonidos con agua destilada y solución detergente.
3. Enjuague esmeradamente las herramientas en agua desmineralizada para prevenir las manchas de caliza.
4. Seque las herramientas para evitar que el agua produzca oxidaciones.
5. Lave, enjuague y seque también las bandejas provistas, cerciorarse que estén perfectamente limpias.
6. Organice bien la carga dejando espacios entre los paquetes a fin de garantizar un perfecto secado.
7. Es necesario que las tijeras y pinzas queden parcialmente abiertas, y es aconsejable esterilizar y poner boca abajo los espejitos y los envases.
8. A fin de conseguir una mejor esterilización sería oportuno mantener separadas las herramientas. Una carga excesiva podría comprometer la esterilización.
9. Si Usted quiere esterilizar material envuelto en las bandejas, es necesario colocar boca abajo la parte transparente del sobre evitando la superposición. Es aconsejable, por tanto, utilizar sobres que presenten bordes limitados, ya que su eventual superposición puede complicar el proceso de secado.

### **Notas y advertencias**

- 1- Para la esterilización de los materiales cumpla cuidadosamente con las indicaciones de la empresa fabricante.
- 2- Para cada esterilización cabe recordar que es aconsejable introducir un indicador químico y diariamente un biológico.

## **8. MANTENIMIENTO**



**Efectúe las operaciones de mantenimiento cuando el equipo esté parado, al haber desenchufado la máquina de la toma de corriente y sólo cuando las componentes no estén demasiado calientes.**

**La declaración de conformidad con las normas vigentes no tiene validez si no se llevan a cabo los trabajos de mantenimiento enumerados a continuación.**

### **8.1 Mantenimiento General**

El equipo necesita de operaciones de mantenimiento especiales; por tanto es conveniente seguir las advertencias ilustradas a continuación:

- Controle periódicamente el estado de la instalación eléctrica especialmente el cable de conexión.

**En caso de avería, póngase en contacto con Nuestro personal técnico o personal especializado.**

- Limpie periódicamente la puerta, el empaque y especialmente eliminando eventuales incrustaciones de caliza mediante una esponja suave humedecida. Un correcto mantenimiento de la limpieza de estos componentes del equipo hacen que la realización del ciclo de esterilización resulte ideal.
- Cuando no vaya a emplear el equipo durante mucho tiempo, apague la máquina, dejando la puerta entreabierto y manteniéndola en un ambiente fresco.
- Para efectuar las operaciones de limpieza de la estructura, es preciso utilizar un paño humedecido.
- No utilice ningún tipo de líquidos inflamables.

### **8.2 Mantenimiento corriente mensual**

Lubricación de los pernos y de los mecanismos de cierre.

Controle el movimiento de la bisagra y del perno de cierre de la puerta; lubrifique con aceite.

### **8.3 Mantenimiento extraordinario periódico**

A fin de garantizar un funcionamiento regular de la autoclave, el fabricante sugiere que se efectúe un chequeo funcional del equipo para controlar que los parámetros de temperatura y presión resulten conformes a los estándares necesarios para una correcta esterilización.

### ***GARANTÍA***

Con el presente documento certificamos la correcta construcción del aparato. Leer atentamente el manual de instrucciones antes de efectuar reclamaciones. El aparato que dentro del período de garantía manifieste irregularidades en el Funcionamiento por defectos de fabricación, será reparado, a juicio inapelable del fabricante.

El aparato está cubierto por la garantía por un período de 1 Año desde la fecha de compra y deberá ser comprobado dicho término con la restitución del certificado de garantía

La garantía se limita a la sustitución o la reparación de las partes o piezas que resultaran con defectos de fabricación, con exclusión de los gastos de:

- Viaje
- Derechos de llamada
- Reembolso kilométrico
- Expedición

### **LA GARANTIA PIERDE TODA VALIDEZ**

1. Si los equipos son reparados, modificados o adulterados por el comprador o por otras personas no autorizadas.
2. Si el comprador no contacta el vendedor o un centro técnico autorizado.
3. Si el aparato presenta daños por exposición a llamas, vuelco de líquidos, calamidades naturales, caídas, o por cualquier causa no imputable a defectos de fabricación.
4. Si el cliente usa en modo impropio el aparato.
5. Si no ha sido efectuado el mantenimiento de rutina o han sido descuidadas las normas para un buen funcionamiento.

<b>PROBLEMA</b>	<b>POSIBLE CAUSA</b>	<b>SOLUCION</b>
*ESCAPE POR LA PUERTA O TAPA FRONTAL	*LA TAPA ESTA DAÑADA O SUCIA	*LIMPIE O SUSTITUYA LA TAPA
*EL AUTOCLAVE NO FUNCIONA	*EL CABLE DE ALIMENTACION SE HA DESENCHUFADO DE LA TOMA CORRIENTE O DE LA PARTE TRASERA DE LA AUTOCLAVE.	*ASEGURESE DE QUE EL CABLE DE ALIMENTACION ESTE ENCHUFADO A LA TOMA CORRIENTE DE LA AUTOCLAVE.
	* NO LLEGA LA ALIMENTACION A LA TOMA DE LA FUENTE DEL AUTOCLAVE	* COMPRUEBE EL DISYUNTOR PARA LA TOMA DE LA FUENTE SI EL PROBLEMA PERSISTE DESENCHUFE EL CABLE DE ALIMENTACION DE LA UNIDAD Y LLAME AL TECNICO DE SRVICIO AUTORIZADO
	*FUSIBLE ABIERTO	* REALIZAR CAMBIO DE FUSIBLE
*SE ESCAPA EL VAPOR POR LA VALVULA DE DESPRESURIZACION	*LA VALVULA DE DESPRESURIZACION NO ESTA CORRECTAMENTE SENTADA	*DESENCHUFE EL CABLE DE ALIMENTACION DE LA UNIDAD Y LLAME AL TECNICO DE SERVICIO AUTORIZADO PARA ASENTAR CORRECTAMENTE LA VALVULA DE DESPRESURIZACION.
	*LA AUTOCLAVE NO SE HA SECADO CORRECTAMENTE	*RECARGUE EL AUTOCLAVE SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES, SI EL PROBLEMA PERSISTE DESENCHUFE EL CABLE DE ALIMENTACION DE LA UNIDAD Y LLAME AL TECNICO DE SERVICIO AUTORIZADO.
EL AUTOCLAVE SE BLOQUEO Y NO HACE NADA , DICE SERVICIO AL CLIENTE.	*ESTO SE DEBE A QUE YA ES NECESARIO UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Y LLAME AL TECNICO DE SERVICIO AUTORIZADO.
EL AUTOCLAVE PIDE QUE SE LE PRESIONE STOP	* FUE UNA FALLA DE CORRIENTE O QUE EL EQUIPO NO TERMINO EL CICLO SATISFACTORIA MENTE.	PRESIONE STOP SI EL PROBLEMA CONTINUA COMUNICARSE CON SERVICIO AL CLIENTE.

## Anexo B. Código de Programación del autoclave

```
#include <18F4550.h>
#device adc=.10
#fuses
HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG
#use delay(clock=120.00000)

//#use delay(clock=20000000)
#use
rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,bits
=8)
#use fast_io(A)
#use fast_io(C)

const int8 image[1024
const int8 imag [1024]
const int8 imag1[1024]
const int8 imag2[1024]
const int8 imag3[1024]
const int8 imag5[1024]
const int8 imag6[1024]
const int8 imag7[1024]

void main();
int8 yadd=0;
int8 lineas=0;
int8 y=0,l=0,t=41,z;
int8 x=0,registro=0,registro1;
int16 contador=0;
char temp[9];
char min[9];
char com[9];
char com2[9];
char seg[9];

char hola[16];
char prueba[16];
char palabra[16];
char raton[16];
int amor,dos,tk;
long int conta,goma,h=0,h1=0;
float kt,presion1,presion2
float j=0;
int8 x1=0;
glcd_init(ON);
output_bit(pin_c7,0); //pito
output_bit(pin_b6,0); //resistencia
output_bit(pin_c0,0);
//valoutput_bit(pin_c2,0); //valvula
output_bit(pin_c1,0); //valvula
output_bit(pin_c2,0); //valvula
set_tris_c(0x00); // puerto b como salidas
set_tris_b(0x00); // puerto b como salidas
set_tris_a(0xff); // puerto b como salidas
glcd_fillScreen(0);
while(1){
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN1|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    //000setup_adc_ports(0x0D);
    //setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);
    output_bit(pin_c7,0); //PITO
    output_bit(pin_c2,0); //Res de secado
    output_bit(pin_c1,0); //enciendo valvula de
    lleado
    output_bit(pin_c0,0); //enciendo valvula de
    lleado
```

```

output_bit(pin_b6,0); //enciendo valvula de
lleado
y=0;
l=0;
t=41;
//z;
segundos=0;
minutos=0;
comodin=0;
comodin2=0;
s=6;
d=0;
c=10;
j=0;

for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
for(x=0;x<=127;x++){
for(y=0;y<=7;y++)
glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(image[contador
],y));
contador+=1;
//delay_ms(50);
}
//delay_ms(5);
yadd=yadd+8;
}
contador=0;
delay_ms(3000);

for (x=0;x<=69;x++){
glcd_circle(63, 32, x, 0,1) ;
//delay_ms(150);
}
for (x=0;x<=69;x++){
glcd_circle(32, 32, x, 0,0) ;
}
glcd_fillScreen(0);
for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
for(x=0;x<=127;x++){
for(y=0;y<=7;y++)

```

```

glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag[contador],
y));
contador+=1;
//delay_ms(5);

yadd=yadd+8;
}
contador=0;
//delay_ms(1000);
goto seleccion;
if ((read_eeprom(0)==0x01)){
if(bit_test(input_a(),5)==0){//Condición
para selección de ciclo de 121
delay_ms(300);//Espera para iniciar
subrutina de ciclo de 121
glcd_fillScreen(0);
goto ciclo1 ;//ciclo de 121
if(bit_test(input_e(),0)==0){//Condición
para selección de ciclo de 134
delay_ms(300);//Espera para iniciar
subrutina de ciclo de 134
glcd_fillScreen(0);
goto ciclo2;}//Llama rutina de ciclo de
134

if(bit_test(input_e(),1)==0){//Condición
para selección de ciclo de liquidos
delay_ms(300);//Espera para iniciar
subrutina de ciclo de secado
glcd_fillScreen(0);
goto ciclo3;}}

else {

glcd_fillScreen(0);
delay_ms(500);
sprintf(palabra,"PRESIONE STOP");
glcd_text57(18,28,palabra,1,1);
glcd_rect(0, 0, 127, 63, 0, 1);
glcd_rect(2, 2, 125, 61, 0, 1);

```

```

if(bit_test(input_e(),2)==0){
    write_eeprom(0,1);
    write_eeprom(3,2);
    goto error;
}
delay_ms(500);
}
//delay_ms(500);
goto seleccion;
ciclo1:
write_eeprom(0,0xff);
    //Inicio de Alarma de inicio de ciclo
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(500);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
//Fin de alarma de inicio de ciclo
if(bit_test(input_e(),2)==0){
    goto stop;
}
for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
    for(x=0;x<=127;x++){
        for(y=0;y<=7;y++){
            glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag2[contador
],y));
            contador+=1;
        }
        yadd=yadd+8;
    }
    contador=0;
    lo=134.2;
    la=28.2;
    kt=28;//Set point para el valor a comparar de
    134
    tk=134;
    sprintf(prueba,"134");
}

kt=18;//Set point para comparar la
presión requerida
// t=4500;
    sprintf(prueba,"121");
delay_ms(500);
goto ciclo_todo;
ciclo2:
write_eeprom(0,0xff);
//Inicio de Alarma de inicio de ciclo
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(500);
    output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
//Fin de alarma de inicio de ciclo
if(bit_test(input_e(),2)==0){
    goto stop;
}
for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
    for(x=0;x<=127;x++){
        for(y=0;y<=7;y++){
            glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag2[contador
],y));
            contador+=1;
        }
        yadd=yadd+8;
    }
    contador=0;
    lo=134.2;
    la=28.2;
    kt=28;//Set point para el valor a comparar de
    134
    tk=134;
    sprintf(prueba,"134");
}

```

```

delay_ms(500);
    goto ciclo_todo;
cicloK:
write_eeprom(0,0xff);
//Inicio de Alarma de inicio de ciclo
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(500);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
//Fin de alarma de inicio de ciclo
if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
}
for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
for(x=0;x<=127;x++){
for(y=0;y<=7;y++)
glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag3[contador
],y));
contador+=1;
//delay_ms(5);
}
yadd=yadd+8;
}
contador=0;
lo=125.4;
la=22.6;
tk=125;
kt= 22;
sprintf(prueba,"125");
delay_ms(500);
goto ciclo_todo;
ciclo_todo:
glcd_fillScreen(0);

glcd_rect(0, 0, 127, 63, 0, 1);
glcd_rect(2, 2, 125, 61, 0, 1);
glcd_line(103, 24, 88, 39,1);
glcd_line(104, 24, 119, 39,1);
glcd_line(88, 39, 119, 39,1);
glcd_rect(103, 29, 104, 34, 0, 1);
glcd_rect(103, 36, 104, 37, 0, 1);
do{
output_bit(pin_c7,1); //PITO
sprintf(palabra,"CERRAR");
glcd_text57(16,16,palabra,2,1);
sprintf(palabra,"PUERTA");glcd_text57(16,32
,palabra,2,1);
delay_ms(500);
glcd_rect(3, 3, 83, 59, 1, 0);
if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(1000);
}
while(bit_test(input_a(),3)==1);

glcd_fillScreen(0);
do{
output_bit(pin_c1,1); //enciendo valvula de
lleado
output_bit(pin_c0,1); //enciendo valvula de
lleado
//glcd_fillScreen(0);
sprintf(palabra,"LLENANDO");
glcd_text57(21,26,palabra,2,1);
delay_ms(1000);
glcd_rect(0, 0, 127, 63, 0, 1);
glcd_rect(2, 2, 125, 61, 0, 1);
glcd_rect(16, 16, 120, 49, 1, 0)
if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
}
}while (bit_test(input_a(),4)==0);

```

```

glcd_fillScreen(0);
output_bit(pin_c1,0); //apago valvula de
llenado
output_bit(pin_c0,0); //apago valvula de
llenado
output_bit(pin_c5,1); //enciendo resistenci
glcd_rect(0,0, 127,63, 0, 1);
glcd_rect(2,2,125,61, 0, 1);
glcd_rect(3, 24, 60, 60, 0, 1);
glcd_rect(63, 24, 123, 60, 0, 1);
glcd_line(7, 26, 7,56 , 1);
glcd_line(7, 56, 57,56 , 1);
glcd_line(8, 54, 11,54 , 1);
GLCD_pixel(6,28,1);
GLCD_pixel(8,28,1);
GLCD_pixel(8,39,1);
GLCD_pixel(8,47,1);
GLCD_pixel(16,55,1);
GLCD_pixel(24,55,1);
GLCD_pixel(32,55,1);
GLCD_pixel(40,55,1);
GLCD_pixel(48,55,1);
sprintf(palabra,"ACONDICIONAMIENTO");
glcd_text57(12,12,palabra,1,1);
sprintf(raton,"PSI");
glcd_text57(101,30,raton,1,1);
glcd_line(63, 40, 123,40 , 1);
sprintf(hola,"Ciclo");
glcd_text57(66,47, hola,1,1);
glcd_text57(101,47,prueba,1,1);
prueba[3] = '\0';

set_adc_channel(0);
delay_ms(100);
    set_adc_channel(0);; //se lee muestra
siguiente
    delay_ms(10);
    presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
presionp=(presion*101.5)/4.7;
presionp=presionp-2.7;
    sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));
    temp[4] = '\0';
    glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
    glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
    delay_ms(100);
    set_adc_channel(1);
    delay_ms(100);
    j=read_adc();
    j=(j*5)/1023;//Se caracteriza el valor
para verlo en voltaje
    j=(j*150)/1.5;
    if(j>80){
        write_eeprom(3,3);
goto error;
    }
    hola:
    output_bit(pin_b6,1); //enciendo prendo
resistencia
    set_adc_channel(0);
    presion=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
    delay_ms(10);
    presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
    presionp=(presion*101.5)/4.7;
    presionp=presionp-2.7;
    sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));
    temp[4] = '\0';
    glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
    glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
    delay_ms(100);
    output_bit(pin_C0,0); // valvula de
retorno para secado
    if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
    }

```

```

if(l==0){
if(presionp>=10){
  glcd_line(11,53, 15,45 , 1);
do{
  output_bit(pin_C0,1); // valvula de
retorno para secado
  set_adc_channel(0);
  presion=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
  delay_ms(10);
  presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
  presionp=(presion*101.5)/4.7;
  presionp=presionp-2.7;
  sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));
  temp[4] = '\0';
  glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
  glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
  delay_ms(100);
  set_adc_channel(1);
  delay_ms(100);
  j=read_adc();
  j=(j*5)/1023;//Se caracteriza el valor
para verlo en voltaje
  j=(j*150)/1.5;
  if(j>=80){
  write_eeprom(3,3);
  goto error;
}
  // glcd_line(15,46, 19,53,1);
  l=1;
  if(presionp<=4){
  glcd_line(15,46, 19,53,1);
  goto hola;
}
}while(1);
}
}
}

```

```

if(presionp>=10){
  glcd_line(20,53, 24,45 , 1);
do{
  output_bit(pin_C0,1); // valvula de
retorno para secado
  set_adc_channel(0);
  delay_ms(10);
  presion=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
  delay_ms(10);
  presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
  presionp=(presion*101.5)/4.7;
  presionp=presionp-2.7;
  sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));
  temp[4] = '\0';
  glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
  glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
  delay_ms(100);
  set_adc_channel(1);
  delay_ms(100);
  j=read_adc();
  j=(j*5)/1023;//Se caracteriza el valor
para verlo en voltaje
  j=(j*150)/1.5;
  if(j>80){
  write_eeprom(3,3);
  goto error;
}
  l=2;
  if(presionp<=4){
  glcd_line(24,46, 28,53,1);
  goto hola;
}
}while(1);
}
}

```

```

        if(presionp>=15){
            output_bit(pin_C0,1); // valvula de
retorno para secado
            set_adc_channel(0);
            delay_ms(100);
            presion=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
            delay_ms(10);
            presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
            presionp=(presion*101.5)/4.7;
            presionp=presionp-2.7;
            sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));
            temp[4] = '\0';
            glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
            glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
            delay_ms(100);

            // glcd_line(15,46, 19,53,1);
            l=3;
            if(presionp<=4){
glcd_line(35,43, 41,53,1);

                goto hola;
            }
        }while(1);
    }
}
if(l==3){
goto acondicionamiento;
}
goto hola;

acondicionamiento:

do{
    set_adc_channel(0);
    output_bit(pin_b6,1); //enciendo
prendo resistencia

```

```

        presion1=read_adc();//Se lee el
conversor
        delay_ms(1);
        presion2=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion3=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion4=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion5=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion6=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion7=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);
        presion8=read_adc(); //se lee muestra
siguiente
        delay_ms(1);

        prefin=(presion1+presion2+presion3+presion
4+presion5+presion6+presion7+presion8);
        presion=prefin/8;
        presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
        presionp=(presion*101.5)/4.7;
        presionp=presionp-2.7;
        set_adc_channel(0);
        delay_ms(10);
        presion=(presion*5)/1023;//Se
caracteriza el valor para verlo en voltaje
        presionp=(presion*101.5)/4.7;
        presionp=presionp-2.7;
        sprintf(temp,
"%3.2f",((float)presionp));

```

```

        temp[4] = '\0';
        glcd_rect(64, 27,95 ,39 , 1, 0);
        glcd_text57(72, 30, temp,1,1);
        delay_ms(100);
        set_adc_channel(1);
        delay_ms(100);
        j=read_adc();
        j=(j*5)/1023;//Se caracteriza el valor
para verlo en voltaje

if (l==3){
if(h>=10){

t++;
z--;
GLCD_pixel(t,z,1);
h=0;
h1=0;
if(z<=40){
l=4;
}
}
h=h+1; }

// GLCD_pixel(x1,presion,1);

if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
}
//sprintf(temp, "%3.2f",((float)presionp));
//glcd_rect(60, 27,127 ,53 , 1, 1);
//glcd_text57(61, 30, temp,1,0);
Alarma de inicio de ciclo
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(500);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO

delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(50);
output_bit(pin_c7,0); //PITO

sprintf(hola,"TIEMPO");
glcd_text57(15,55,hola,1,0);
sprintf(palabra,"CICLO");
glcd_text57(75,55,palabra,1,0);

if(bit_test(input_e(),2)==0){
goto stop;
(conta=1;conta<=(50);++conta) { //Ciclo para
la esterilizacion

sprintf(hola,"ESTERILIZANDO");
glcd_text57(s,15,hola,1,1);

delay_ms(100);
if(d>=1){
s=s-3;
// c=c-1;
if(s<=6){
d=0;
}
}
}
delay_ms(500);
glcd_rect(5,5,122,30 , 1, 0);

```

```

glcd_rect(9, 37,30,50 , 1, 0);
    glcd_rect(38, 37,59,50 , 1, 0);
printf(min, "%u",((int8)minutos));
min[2] = '\0';
glcd_text57(9, 37,min,2,1);
printf(com, "%u",((int8)comodin));
com[2] = '\0';
glcd_text57(20, 37,com,2,1);

printf(hola,":");
glcd_text57(30,37,hola,2,1);
printf(seg, "%u",((int8)segundos));
seg[2] = '\0';
glcd_text57(38, 37,seg,2,1);
printf(com2, "%u",((int8)comodin2));
com2[2] = '\0';
comodin2=comodin2+1;
if(comodin2>=10){
    segundos=segundos+1;
    comodin2=0;}
if(segundos>=6){
    comodin=comodin+1;
    segundos=0;}
if(comodin>=10){
    minutos=minutos+1;
    comodin=0;}
set_adc_channel(0);
delay_ms(100);
presion=read_adc();
presion=(presion*5)/1023;
presionp=(presion*101.5)/4.7;
presionp=presionp-2.7;
delay_ms(100);
// adc = read_adc();
set_adc_channel(1);
delay_ms(100);
j=read_adc();
j=(j*5)/1023;//Se caracteriza el valor
para verlo en voltaje
j=(j*150)/1.5;

if(j>80){
    write_eeprom(3,3);

    //output_bit(pin_C0,1); // valvula de
    retorno para secado

    if(bit_test(input_e(),2)==0){
        goto stop;
    }

    glcd_fillScreen(0);
    for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
        for(x=0;x<=127;x++){
            for(y=0;y<=7;y++){
                glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag5[contador
                ],y));

            ,0); //PITO
            //Fin de alarma de fin de retorno

            output_bit(pin_C0,1); // valvula de retorno
            para secado
            output_bit(pin_C2,1); // Resistencia de
            secado

            //Inicio de Alarma de secado
            output_bit(pin_c7,1); //PITO
            delay_ms(500);
            output_bit(pin_c7,0); //PITO
            delay_ms(50);
            output_bit(pin_c7,1); //PITO
            delay_ms(50);
            output_bit(pin_c7,0); //PITO
            delay_ms(50);
            output_bit(pin_c7,1); //PITO
            delay_ms(50);
            output_bit(pin_c7,0); //PITO
            //Fin de alarma de secado
            output_bit(pin_C0,0); // valvula de retorno
            para secado

```

```

        glcd_fillScreen(0);
        for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
        for(x=0;x<=127;x++){
        for(y=0;y<=7;y++){
        glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag8[contador
        ],y));
        contador+=1;
        }
        yadd=yadd+8;
        }

        contador=0;
        minutos=0;
        segundos=0;
        comodin=0;
        comodin2=0;

        for (dos=1;dos<=(220);++dos) { //ciclo para
        secado
        goto imprimir;

        imprimir:
        registro= (read_eeprom(2)+1);
        write_eeprom(2,registro);
        registro1=read_eeprom(2);
        glcd_fillScreen(0);
        for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
        for(x=0;x<=127;x++){
        for(y=0;y<=7;y++){
        glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag6[contador
        ],y));
        contador+=1;
        }
        yadd=yadd+8;
        }

        contador=0;

        putc(0x1d);
        putc(0x63);
        putc(0x00);
        putc(0x1b);
        putc(0x25);
        putc(0x01);
        putc(0x1b);
        putc(0x43);
        putc(0x00);

        putc(0x02);
        printf("////////////////////////////////////////\n");
        printf("ALTELEC\n");

        printf("*****\n"
        );

        printf("*****\n"
        );
        printf("Registro No. %d\n ",registro1);
        putc(0x03);

        amor=1;
        delay_ms(5000);

        if(amor==1){
        putc(0x1d);
        putc(0x63);
        putc(0x00);
        putc(0x1b);
        putc(0x43);
        putc(0x01);

        putc(0x02);
        printf("Fecha: __/__/__\n");
        putc(0x03);

        amor=2;
        delay_ms(2000);

```

```

}
if(amor==2){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x52);
putc(0x01);

putc(0x02);
printf("CICLO. %d",tk);
putc(0x5b);
printf("C\n");
printf("\n");
printf("Accesorios\n ");
putc(0x03);

amor=3;
delay_ms(3000);
}

if(amor==3){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x02);

putc(0x02);
printf("Presion Maxima: %f psi\n ",la);
printf("temperatura: %f ",lo);
putc(0x5b);
printf("C\n");
printf("\n");
putc(0x03);

```

```

amor=4;
delay_ms(3000);
}
if(amor==4){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

putc(0x02);
printf("CICLO TERMINADO\n");
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x01);
printf("Espacio para Indicador\n
Quimico\n");
printf("_____ \n
");
putc(0x03);

amor=5;
delay_ms(3000);
}
if(amor==5){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x01);

putc(0x02);
printf("*          *\n");
printf("*          *\n");
printf("*          *\n");
printf("*          *\n");

putc(0x03);

```

```

amor=6;
delay_ms(5000);
}

if(amor==6){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

putc(0x02);

printf("_____ \n");

printf("Nombre:_____ \n"
);
printf("Firma:
_____ \n");
printf("\n ");
printf("////////////////////////////////////");
putc(0x03);
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x80);

amor=7;
delay_ms(3000);
}

goto inicio;

stop:
glcd_fillScreen(0);
for (lineas=0;lineas<=7;lineas++){
for(x=0;x<=127;x++){
for(y=0;y<=7;y++)

glcd_pixel(x,y+yadd,bit_test(imag7[contador
],y));
contador+=1;

}
yadd=yadd+8;
}
contador=0;

output_bit(pin_C0,1); // valvula de retorno
para secado
output_bit(pin_b6,0); // apago resistencia
output_bit(pin_C2,0); // apago resistencia
de secado
output_bit(pin_C1,0); // apago válvula de
llenado
output_bit(pin_c7,0); //PITO
for (dos=1;dos<=(220);++dos) { //ciclo para
despresurisar
output_bit(pin_C0,1); // valvula de retorno
para secado
delay_ms(1000);
}
delay_ms(200);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(200);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(200);
output_bit(pin_c7,1); //PITO
delay_ms(200);
output_bit(pin_c7,0); //PITO
delay_ms(3000);
write_eeprom(0,1);
write_eeprom(3,1);
goto error;

error:
glcd_fillScreen(0);
x1=read_eeprom(3);
registro= (read_eeprom(2)+1);

```

```

write_eeprom(2,registro);
registro1=read_eeprom(2);
sprintf(palabra,"ERROR");
glcd_text57(18,18,palabra,2,1);
glcd_rect(0, 0, 127, 63, 0, 1);
glcd_rect(2, 2, 125, 61, 0, 1);
glcd_line(103, 24, 88, 39,1);
glcd_line(104, 24, 119, 39,1);
glcd_line(88, 39, 119, 39,1);
glcd_rect(103, 29, 104, 34, 0, 1);
glcd_rect(103, 36, 104, 37, 0, 1);

output_bit(pin_C0,1); // valvula de retorno
para secado
output_bit(pin_b6,0); // apago resistencia
output_bit(pin_C2,0); // apago resistencia
de secado
output_bit(pin_C1,0); // apago válvula de
llenado
for (dos=1;dos<=(20);++dos) {//ciclo para
despresurisar
output_bit(pin_C0,1); // valvula de retorno
para secado
delay_ms(10);
}

putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x25);
putc(0x01);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

putc(0x02);
printf("////////////////////////////////////////\n");
printf("ALTELEC\n");

printf("*****\n");
printf("*****\n");
printf("Registro No. %d\n ",registro1);
putc(0x03);

amor=1;
delay_ms(5000);

if(amor==1){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x01);

putc(0x02);
printf("Fecha: __/__/__\n");
putc(0x03);

amor=2;
delay_ms(2000);}

if(x1==3){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

putc(0x02);
printf("ERROR No. 3\n");
printf("Sobre calentamiento \n del
equipo\n");
printf("Desconecte el equipo\n");

```

```

printf("Contacte su proveedor\n ");
printf("\n");
printf("////////////////////////////////");
putc(0x03);
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x80);

amor=7;
delay_ms(3000);
}
if(x1==2){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

putc(0x02);
printf("ERROR No. 2\n");
printf("Falla Corriente Electrica\n");
printf("CICLO NO TERMINADO\n");
printf("Presione STOP\n ");
printf("\n");
printf("////////////////////////////////");
putc(0x03);
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x80);

amor=7;
delay_ms(3000);
}

printf("Contacte su proveedor\n ");
printf("\n");
printf("////////////////////////////////");
putc(0x03);
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x80);

amor=7;
delay_ms(3000);
}
if(x1==1){
putc(0x1d);
putc(0x63);
putc(0x00);
putc(0x1b);
putc(0x43);
putc(0x00);

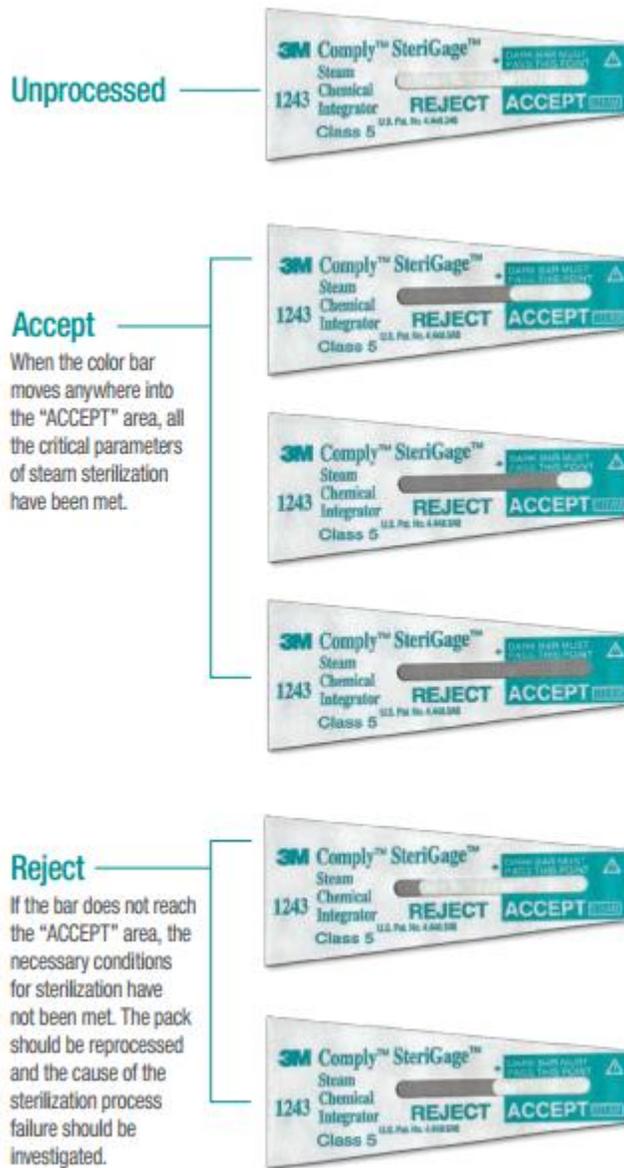
putc(0x02);
printf("ERROR No. 1\n");
printf("Proceso Detenido\n");
printf("CICLO NO TERMINADO\n");
printf("\n");
printf("////////////////////////////////");
putc(0x03);
putc(0x1b);
putc(0x4a);
putc(0x80);

amor=7;
delay_ms(3000);
}
write_eeprom(0,1);
goto inicio;

}}

```

## Anexo C. Lectura de Resultados de pruebas Químicas



## Anexo D. Lectura de resultados de prueba Biológica

### Use of Positive Controls

The use of positive controls is required to ensure correct incubation conditions, viability of spores and capability of the medium to promote growth. A non-sterilized 3M Attest 1262 or 1262P biological indicator from the same lot should be used in each incubator each day biological indicators are used as a positive growth control.

#### Successful Sterilization Process



**1** Place a non-sterilized Attest biological indicator in the incubator each day you put in an activated sterilized biological indicator.

**2** Examine the positive control indicator at regular intervals such as 8, 12, 24 and 48 hours. Appearance of a yellow color is evidence of bacterial growth. A yellow color in the control vial demonstrates correct incubation, viability of spores and capability of the medium to promote rapid growth.

#### Failed Sterilization Process



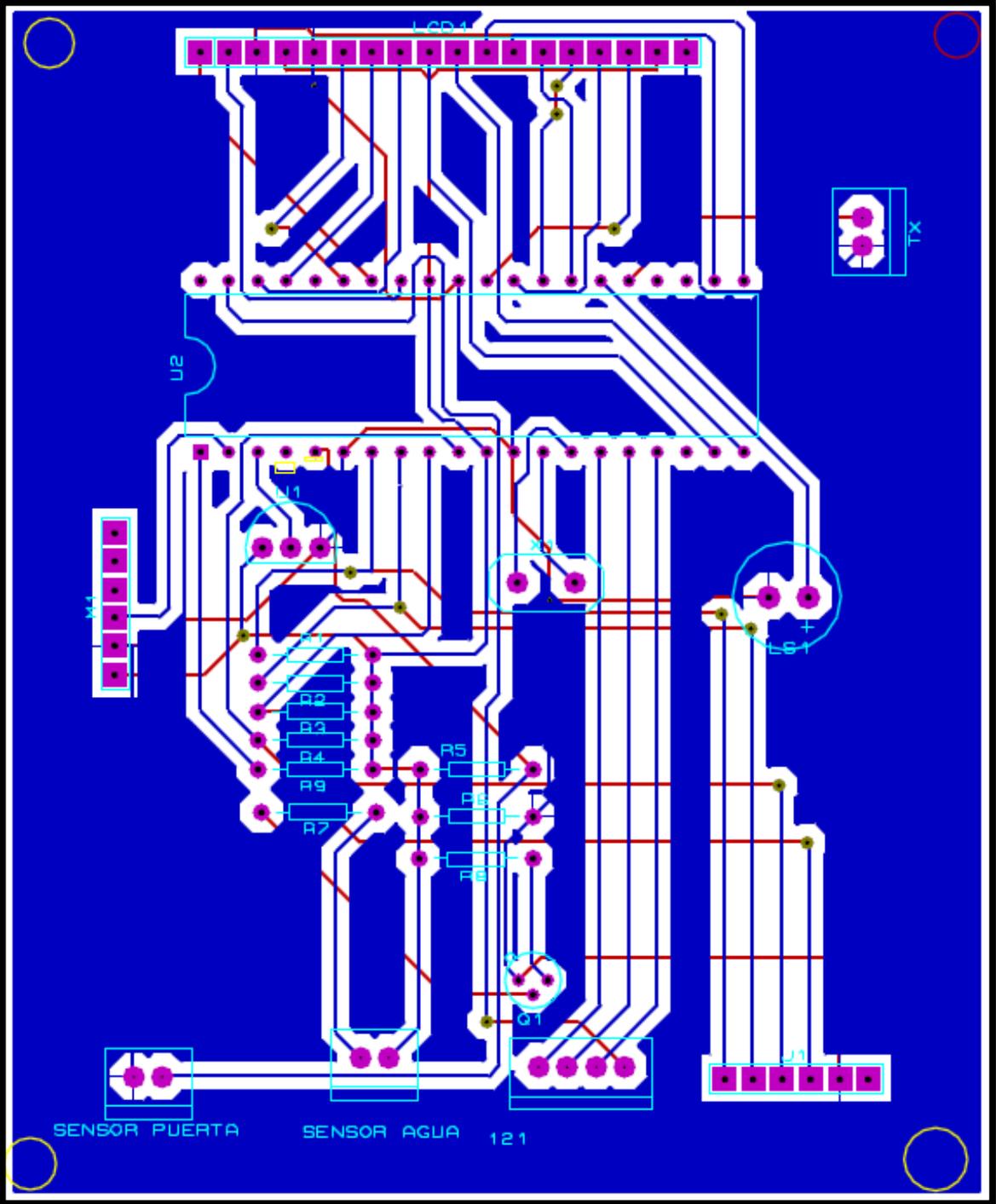
#### Control Vial



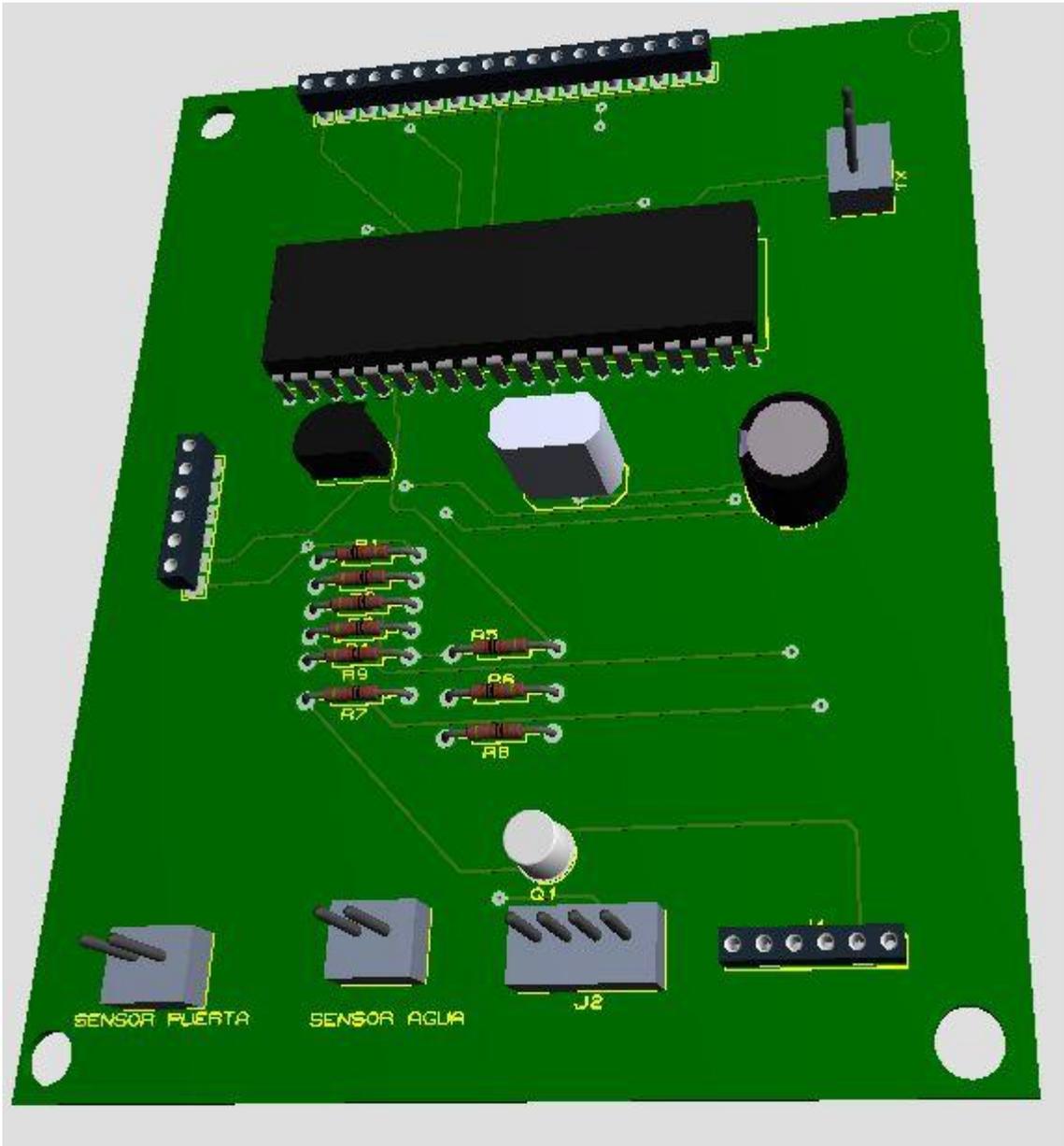
**3** Record results in the record keeping log book.

**4** Dispose of used indicators in accordance with facility policy. You may wish to sterilize any positive indicators at 250°F (121°C) for at least 15 minutes or at 270°F (132°C) for 10 minutes in a gravity displacement steam sterilizer.

Anexo E. Circuito Impreso del Hardware general



**Anexo F.** Simulación en 3D de las medidas de los componentes del hardware general.



**Anexo G.** Circuito Impreso de la fuente de alimentación

